



Universidad
Carlos III de Madrid

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Grado en Ingeniería Mecánica

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS
ALERONES EN LOS PARÁMETROS
MECÁNICOS DE UNA MOTOCICLETA DE
COMPETICIÓN EN PASO POR CURVA

AUTOR: ALEJANDRO ANTEQUERA SERRA

TUTOR: HIGINIO RUBIO ALONSO

CO-TUTOR: WILFRIED COENEN

LEGANÉS SEPTIEMBRE 2013





**“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una
motocicleta de competición en paso por curva”**

Título: Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una
motocicleta de competición en paso por curva.

Autor: Alejandro Antequera Serra

Director: Higinio Rubio Alonso

Co-tutor: Wilfried Coenen

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día ____ de _____ de 20____
en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda
otorgarle la CALIFICACIÓN de _____

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE





Quería agradecer a todas las personas que me han ayudado en la realización de este proyecto y a lo largo de mis estudios, su esfuerzo y dedicación.

A toda mi familia, en especial a mis padres, Begoña y José Manuel, y a mis hermanos, Javier y José Manuel, sin sus consejos y ayuda no habría conseguido llegar a donde ha llegado.

A mis amigos de la universidad, sobre todo a Berro mi compañero de fatigas, gracias a su apoyo y ayuda se me hicieron mucha más llevaderos aquellos largos días en la universidad.

A mis amigos de la Adrada y del barrio, con los que pude disfrutar de mí tiempo libre y vivido grandes momentos a lo largo de estos años.

A Paloma y Ángel, los cuales escucharon muchas tardes mis problemas e hicieron por ayudarme con ellos.

A Higinio, el cual me dio la oportunidad de realizar un proyecto sobre algo que me apasiona.

A mi abuela Constantina, que siempre tendrá un lugar en mi recuerdo.

A Silvia, la persona con la que comparto mi vida y razón de la mayoría de mis alegrías en todo este tiempo. Muchas gracias por estar siempre en mis buenos y malos momentos, y sobre todo regalarme tus momentos.



Resumen

En este proyecto se plantea una propuesta de diseño de unos alerones de geometría variable para una motocicleta de competición de categoría Moto3 del mundial de motociclismo enmarcado en la II Edición de la competición MotoStudent.

Se comienza viendo la historia y evolución de la aerodinámica en la motocicleta, seguidamente definimos conceptos aerodinámicos básicos y analizamos las condiciones ambientales en el circuito, necesarias para el análisis de los alerones.

Por otro lado también definimos de forma detallada el proceso de cálculo y los pasos seguidos en el mismo.

Seguidamente diseñamos nuestros alerones basándonos en los conceptos aerodinámicos vistos anteriormente.

Después se realiza un análisis aerodinámico de nuestros alerones para comprobar que estos cumplan las características deseadas y seleccionamos aquellos que mejor se ajusten a las propiedades buscadas, que mejoraremos mediante el uso de dispositivos hipersustentadores.

Finalmente se calculan estos nuevos alerones y seleccionamos el que mejor se ajuste a nuestras necesidades. Después calculamos la mejora proporcionada por el diseño seleccionado en curva.

Palabras clave: Alerones, motocicleta, MotoStudent, hipersustentadores, sustentación.



Abstract

In this project proposes a design proposal for a variable geometry wings for a motorcycle racing world Moto3 class of motorcycle framed in the second edition of the competition MotoStudent.

We start seeing the history and evolution of aerodynamics on the motorbike, then define basic aerodynamic concepts and we'll analyze environmental conditions in the circuit required for the analysis of the ailerons.

On the other hand we also define in detail the calculation process and the steps followed in the same.

Then we design our flaps based on the aerodynamic concepts previously viewed.

After an aerodynamic analysis of our spoiler to verify that they meet the desired characteristics and select two spoilers that best match the desired properties, we will improve through the use of lift devices.

Finally, we calculated these new ailerons and select the one that best suits our needs. Then we calculate the improvement provided by the selected design when cornering.

Keyword: Ailerons, motorcycle, Motostudent, hyper-lift, lift.



Índice

1. INTRODUCCIÓN	18
1.1. Introducción	18
1.2. Objetivo del proyecto.....	19
1.2.1. Método de estudio	19
2. AERODINÁMICA.....	21
2.1. Introducción	21
2.2. Historia de la aerodinámica de la motocicleta.....	21
3. MOTOSTUDENT	28
3.1. Objetivo de la competición	28
3.2. Reglamento	28
3.2.1. Llantas y neumáticos	28
3.2.2. Carenados.....	29
3.2.2.1. Restricciones dimensionales.....	29
3.2.2.2. Seguridad	29
3.3. Circuito	30
3.3.1. Información Técnica	30
3.3.2. Homologaciones.....	30
3.3.3. Ubicación.....	30
3.3.4. Datos del circuito	30
4. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES	33
4.1. Introducción	33
4.2. Capa límite.....	33
4.3. Estacionareidad de la corriente fluida	36
4.3.1. Caso de estudio	37
4.4. Compresibilidad del Flujo.....	38
4.4.1. Caso de estudio	39
4.5 Tipo de flujo.....	39
5. DISEÑO DE LOS ALERONES	41
5.1 Introducción	41
5.2 Terminología de perfiles aerodinámicos.....	41



“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

5.3 Sustentación y Resistencia	43
5.4 Influencia del tipo de perfil sobre el coeficiente de sustentación	44
5.5 Geometrías	45
5.5.1 Perfil Asimétrico 1	46
5.5.1 Perfil Asimétrico 2	47
5.5.3 Perfil Simétrico	48
6. CALCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS	49
6.1 Perfiles simples.....	49
6.2 Perfiles flap Fowler.....	49
6.3 Perfiles flap Fowler con ranura doble	50
6.4 Perfiles Álula (slat) y flap Fowler con ranura doble	50
7. CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS AERODINÁMICAS.....	51
7.1 Geometría	51
7.2 Malla.....	55
7.3 Fluent	59
8. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PERFILES ORIGINALES	71
8.1 Perfil Asimétrico 1	71
8.2 Perfil Asimétrico 2	76
8.3 Perfil Simétrico	80
8.4 Comparación de resultados	85
9. DISPOSITIVOS HIPERSUSTENTADORES.....	86
9.1 Definición	86
9.2 Tipos	86
9.2.1 Flap Fowler	87
9.2.2 Flap Fowler con ranura doble	87
9.2.3 Álula (slat) y flap Fowler con ranura doble	88
10. RESULTADOS OBTENIDOS PERFILES RE-DISEÑADOS.....	89
10.1 Perfil Asimétrico 1	89
10.1.1 Perfil Asimétrico 1 Fowler	89
10.1.2 Perfil Asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble.....	94
10.1.3 Perfil Asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble.....	98
10.2 Perfil Asimétrico 2	103



“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

10.2.1 Perfil Asimétrico 2 Fowler	103
10.2.2 Perfil Asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble	108
10.2.3 Perfil Asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble.....	112
10.3 Resultados Obtenidos	116
11. UTILIZACIÓN DE NUESTROS ALERONES EN LA MOTO.....	118
11.1 Calculo del beneficio en curva de nuestros alerones.....	120
11.1.1 Velocidad máxima original	121
11.1.2 Velocidad máxima con alerones	121
11.1.2.1 Asimétrico 1 Fowler.....	121
11.1.2.2 Asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble.....	122
11.1.2.3 Asimétrico 1 Álula y Flap Fowler con ranura doble	122
11.1.3 Tiempo de paso por curva.....	123
12. CONCLUSIONES	126
13. DESARROLLOS FUTUROS	129
14. PRESUPUESTO	130
14.1 Costes de personal	130
14.2 Coste de material informático y licencias	130
14.3 Costes Indirectos	130
15. BIBLIOGRAFÍA	132

Índice de Imágenes

Ilustración 1: Carrera mundial MotoGP	18
Ilustración 2: MotoGuzzi V8	22
Ilustración 3: Carenado de amplia protección	23
Ilustración 4: Cúpula de posición variable	24
Ilustración 5: Carenado de gran protección	25
Ilustración 6: Carenado de corte deportivo	26
Ilustración 7: Elementos que componen un carenado	27
Ilustración 8: Trazado Nacional de Motos	31
Ilustración 9: Temperaturas anuales en Alcañiz	31
Ilustración 10: Comparación del flujo alrededor de una placa plana: (a) flujo laminar a bajos números de Reynolds; (b) flujo a altos números de Reynolds	35
Ilustración 11: Partes perfil aerodinámico	41
Ilustración 12: Ángulo de ataque	43
Ilustración 13: Distribución de Presiones	44
Ilustración 14: Coeficiente de sustentación, para distintos perfiles	45
Ilustración 15: Perfil asimétrico 1	46
Ilustración 16: Perfil asimétrico 2	47
Ilustración 17: Perfil simétrico	48
Ilustración 18: Panel de unidades de medida	52
Ilustración 19: Barra de Herramientas 2	52
Ilustración 20: Barra de Herramientas 1	52
Ilustración 21: Definición del volumen de control	53
Ilustración 22: Menú Create	54
Ilustración 23: Menú Boolean	54
Ilustración 24: Volumen de control	55
Ilustración 25: Detalles de la malla 1	56
Ilustración 26: Detalles de la malla 2	57
Ilustración 27: Generación de la malla	57
Ilustración 30: Named Selections	58
Ilustración 28: Malla generada en los alerones	58
Ilustración 29: Malla generada en todo el volumen	58
Ilustración 31: Malla final generada en los alerones	59
Ilustración 32: Ventana de inicio a Fluent	60
Ilustración 33: General	61
Ilustración 34: Models	62
Ilustración 35: Boundary Conditions	63
Ilustración 36: Velocity-Inlet	64
Ilustración 37: Outflow	65



“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Ilustración 38: Projected Areas	65
Ilustración 39: Reference Values	66
Ilustración 40: Solutions	67
Ilustración 41: Solution Control	68
Ilustración 42: Solution Initialization	69
Ilustración 43: Run Calculation.....	70
Ilustración 44: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 1	72
Ilustración 45: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 1	73
Ilustración 46: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 1	73
Ilustración 47: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 1	74
Ilustración 48: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1	74
Ilustración 50: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 1	75
Ilustración 49: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1	75
Ilustración 51: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 1.....	76
Ilustración 52: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 2.....	76
Ilustración 53: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 2.....	77
Ilustración 54: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 2	78
Ilustración 55: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 2	78
Ilustración 56: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2	79
Ilustración 57: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2	79
Ilustración 58: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 2	80
Ilustración 59: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 2.....	80
Ilustración 60: Residuos del cálculo iterativo perfil simétrico	81
Ilustración 61: Coeficiente de Resistencia del perfil simétrico	82
Ilustración 62: Coeficiente de Sustentación del perfil simétrico.....	82
Ilustración 64: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil simétrico	83
Ilustración 63: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil simétrico	83
Ilustración 66: Fuerza de arrastre del perfil simétrico.....	84
Ilustración 65: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil simétrico	84
Ilustración 67: Fuerza de sustentación del perfil simétrico	85
Ilustración 68: Dispositivo flap Fowler	87
Ilustración 69: Dispositivo flap Fowler con ranura doble	87
Ilustración 70: Dispositivo Álula (slat) y flap Fowler con ranura doble.....	88
Ilustración 71: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 1 Fowler.....	90
Ilustración 72: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 1 Fowler.....	91
Ilustración 73: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 1 Fowler	91



“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Ilustración 74: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 1 Fowler.....	92
Ilustración 75: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1 Fowler	92
Ilustración 77: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 1 Fowler	93
Ilustración 76: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1 Fowler	93
Ilustración 78: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 1 Fowler	94
Ilustración 79: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble	94
Ilustración 80: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble	95
Ilustración 81: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble	95
Ilustración 82: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble.....	96
Ilustración 83: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble	96
Ilustración 84: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble	97
Ilustración 85: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble	98
Ilustración 86: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble	98
Ilustración 87: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble	99
Ilustración 88: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble	100
Ilustración 89: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble.....	100
Ilustración 90: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble	101
Ilustración 91: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble.....	101
Ilustración 92: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble.....	102
Ilustración 93: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble	102
Ilustración 94: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble	103
Ilustración 95: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 2 Fowler.....	104
Ilustración 96: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 2 Fowler.....	105
Ilustración 97: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 2 Fowler	105



“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Ilustración 98: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Fowler	106
Ilustración 99: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Fowler	106
Ilustración 100: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Fowler	107
Ilustración 101: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 2 Fowler	107
Ilustración 102: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 2 Fowler	108
Ilustración 103: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble	108
Ilustración 104: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble	109
Ilustración 105: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble	109
Ilustración 106: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble	110
Ilustración 107: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble	110
Ilustración 108: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble	111
Ilustración 109: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble	111
Ilustración 110: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble	112
Ilustración 111: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble	112
Ilustración 112: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble	113
Ilustración 113: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble	113
Ilustración 114: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble	114
Ilustración 115: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble	114
Ilustración 116: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble	115
Ilustración 117: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble	115
Ilustración 118: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble	116
Ilustración 119: Fuerzas de una moto en curva	118
Ilustración 120: Alerones seleccionados junto al guardabarros	125



Ilustración 121: Activación de un dispositivo Flap Fowler con ranura doble en el ala de un avión.....	129
---	-----



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparativa de los resultados obtenidos	85
Tabla 2: Resultados obtenidos hipersustentadores 1.....	116
Tabla 3: Resultados obtenidos hipersustentadores 2.....	117



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

En la actualidad, cada día que pasa, la motocicleta tiene más peso e importancia en la sociedad como medio de transporte. La motocicleta se está convirtiendo en un vehículo de muy útil para desplazarse por la ciudad y también en viajes largos. Encontramos motocicletas la mayoría de ellas para uso como transporte son motocicletas de cuatro tiempos mono cilíndricas que reducen en gran medida las emisiones al medio ambiente, pero aún hay más, ya que se están empezando a vender motocicletas eléctricas y en ciudades, centros comerciales, etc. se están colocando puntos gratuitos para cargar las baterías promoviendo el uso de estos vehículos.

Con respecto a la competición, las motocicletas siempre han tenido un gran público, pero en la actualidad, el mundo de las dos ruedas está de gran moda en Europa y aún más a nivel nacional con los numerosos pilotos que hay en los diferentes campeonatos europeos e internacionales. Esta tendencia sigue en aumento con la última noticia de que el CEV (Campeonato de España de Velocidad) contará con varias pruebas fuera del país para promocionar este campeonato que se ha convertido en la cantera y principal escaparate para entrar en el campeonato estrella que es el Mundial de MotoGP. Donde compiten motos prototipo realizadas por los numerosos equipos que existen en las tres categorías existentes (Moto 3, Moto2 y Moto GP) y de las fábricas más importantes a nivel mundial.



Ilustración 1: Carrera mundial MotoGP

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

En esta competición todos los equipos buscan desde la ingeniería y el diseño lograr los mejores resultados posibles, y ello engloba todas las partes de las motocicletas, desde neumáticos, suspensiones motores hasta aerodinámica.

En este contexto, el objetivo principal del presente proyecto trata el diseño y estudio de las propiedades aerodinámicas de unos alerones de geometría variable para una moto3 destinada a la competición MotoStudent, en especial del estudio de los beneficios que proporcionarían esos alerones en el paso por curva de nuestra motocicleta. El diseño pertenece al equipo de competición UC3Moto, el cual desarrolla motocicletas tanto para su uso en competición como para el desarrollo de nuevas mejoras en el mundo de las motocicletas.

MotoStudent es una competición internacional que se celebra anualmente en el circuito de Aragón (Motorland), donde se reta a equipos formados por alumnos universitarios a diseñar, construir y conducir una motocicleta. La competición consiste en una carrera y distintas pruebas de agilidad para las motocicletas, además de evaluar las mejores innovaciones y los proyectos técnicos.

El CAD seleccionado para realizar la geometría de nuestros alerones será *Pro/Engineer*, y después serán simulados utilizando *AnsysFluent*, para obtener todos los datos y parámetros.

1.2. Objetivo del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es el estudio y diseño de unos alerones variables que permita un paso por curva a mayor velocidad de la motocicleta, es decir, se pretende mejorar la velocidad media en circuito de la motocicleta.

Por otra parte se pretende lograr este objetivo de tal manera que la resistencia aerodinámica generada por nuestros alerones sea la menor posible.

También se intentará la selección de un diseño que no implique un sistema mecánico excesivamente complejo para su implementación en la motocicleta, de tal manera que sea un diseño realista y posible de implementar.

A través de estos objetivos marcaremos un sistema y un método de estudio bien definido y estructurado.

1.2.1. Método de estudio

Para conseguir los objetivos que se pretenden en este proyecto ideamos una metodología de estudio propia, ya que además del estudio aerodinámico de nuestros alerones, también se pretende implantar una disciplina de estudio con la intención de

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

ser utilizado en la asociación UC3Moto para futuros diseños aerodinámicos en nuevas motocicletas.

Nuestro método de estudio tendrá varios pasos a seguir, que exponemos a continuación:

- 1) **Documentación, recopilación de información y de herramientas (tanto para el diseño como para las posteriores simulaciones)**, este paso más que un paso 1, es un paso 0, ya que no se debe comenzar ningún diseño sin el proceso de documentación previo. También es necesario conocer las herramientas de las que disponemos con la intención de poder simular y obtener datos, lo más reales posible para nuestros diseños, antes de su fabricación.
- 2) **Objetivo a realizar**, paso bastante obvio pero importante ya que es la base de todo lo que hagamos posteriormente en nuestro estudio. Este paso adquiere mayor importancia si el trabajo a realizar es en grupo, puesto que para que un trabajo en grupo sea efectivo ha de estar perfectamente estructurado y organizado entre todos sus miembros.
- 3) **Prediseños y diseños**, hacemos los diseños basándonos en lo estudiado con anterioridad y en las posibilidades de fabricación del mismo, siendo fieles a los objetivos marcados.
- 4) **Simulación y cálculo de nuestros diseños**, ponemos a prueba las prestaciones de nuestros diseños mediante unas simulaciones en las mismas condiciones.
- 5) **Selección y optimización del diseño**, de todos los diseños simulados escogemos el que mayores prestaciones nos ofrezca, según la finalidad deseada, y optimizamos el primer diseño.
- 6) **Fabricación.**



2. AERODINÁMICA

2.1. Introducción

La aerodinámica es la rama de la mecánica de fluidos especializada en el cálculo de las acciones que aparecen sobre los cuerpos sólidos cuando existe un movimiento relativo entre éstos y el fluido en el que se desplazan. Para determinar las cargas aerodinámicas, es preciso llegar a un compromiso entre la realidad física y las simplificaciones necesarias que exige el tratamiento matemático del modelo del problema. En aerodinámica el punto de partida son la ecuación de continuidad (2.1), las ecuaciones que expresan el balance de cantidad de movimiento (2.2) según cada uno de los ejes del sistema de referencia (conocidas como ecuaciones de Navier-Stokes en el caso general, y como ecuaciones de Euler cuando los efectos viscosos son despreciables), la ecuación de la energía (2.3) y la ecuación de estado.

$$\frac{d}{dt} \int_D \rho dv + \int_S \rho V \cdot n ds = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{d}{dt} \int_D \rho V dv + \int_S \rho V (V \cdot n) ds = - \int_S p n ds + \int_S n \tau' ds + \int_D \rho F_m dv \quad (2.2)$$

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = \frac{Dp}{Dt} + \nabla \cdot (k \nabla T) + \Phi_v - \nabla \cdot q_r + Q_{rp} \quad (2.3)$$

Cuando se formula un problema aerodinámico ha de completarse con las condiciones de contorno e iniciales apropiadas, esta formulación resulta ser extremadamente compleja por lo que es necesario introducir simplificaciones adicionales si se pretende llegar a modelos matemáticos con solución analíticamente, e incluso numéricamente, en los que los esfuerzos para su resolución no resulte desmesurado.

2.2. Historia de la aerodinámica de la motocicleta

La carrocería de las motos ha estado formada durante décadas únicamente por los elementos externos que servían para una función específica: depósito de gasolina, sillín y placas laterales. Con el tiempo la influencia de la aerodinámica ha obligado a estudiar formas con unos valores de C_x más ventajosos que disminuyeran la resistencia, y proporcionaran por tanto una mayor velocidad con la misma potencia. Inicialmente este estudio se concentró en la competición, una vez que la aeronáutica, motor de toda esta investigación, propuso las normas básicas.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Los primeros carenados de competición aparecieron en las motos destinadas a batir records de velocidad, pero eran excesivamente estilizados como para poder usarse en otro tipo de motos.

En motos de competición en circuito, este tipo de accesorio apareció muy poco después a inicios de los años '50. Inicialmente se trataba de pequeñas cúpulas situadas delante del manillar, de modo que el piloto quedaba algo protegido. Poco después los carenados se ampliaron enormemente cubriendo toda la parte frontal de la motocicleta incluyendo la rueda delantera. A este tipo de carenados se les denominó tipo “Delfín”. Se aumentó espectacularmente la penetración de estos modelos, pero causaron también graves problemas de sustentación por elevarse las motos, dificultades frente al viento lateral y, además, los modelos no disponían ni de suspensiones ni de frenos para adecuarse a esas velocidades, por lo que se prohibieron.

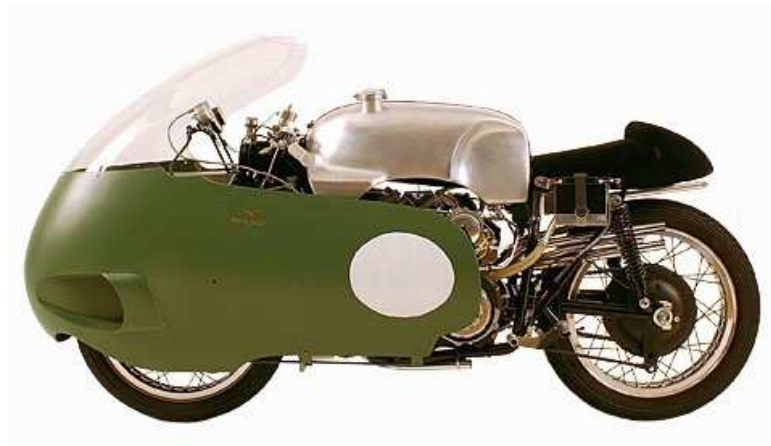


Ilustración 2: MotoGuzzi V8

A partir de este momento la evolución del carenado ha seguido unas normas bastante uniformes, tanto en competición como en las propias motos comerciales. La estructura general del carenado consiste en una cúpula que mantiene despejada la rueda delantera, manteniendo su maniobrabilidad y la refrigeración de sus elementos. Por debajo de la cúpula que cubre la parte frontal se descuelgan unos laterales que abrazan la moto por ambos costados y por la parte inferior, y acaban en la zona donde el piloto sitúa sus piernas.

A este carenado básico se le unen una serie de elementos en otras zonas de la moto y puede disponer de accesorios de todo tipo.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

En las motos comerciales, hasta hace relativamente muy poco tiempo, los carenados no se han, instalado como elementos de serie. Inicialmente, la protección del piloto fue el argumento primordial de las cúpulas, que se instalaban normalmente ancladas a los elementos de la suspensión delantera. Esta disposición no era la más correcta, ya que las reacciones del aire contra el carenado, actuaban directamente sobre la dirección de la moto, aumentando la inestabilidad a alta velocidad. Esta disposición se puede observar en la Ilustración 3, es incluso hoy en día bastante corriente en carenados que se sirven como accesorios debido a la facilidad de instalación y a que no requiere modificaciones en la parte ciclista del modelo original.



Ilustración 3: Carenado de amplia protección

Los carenados anclados directamente al bastidor aparecieron posteriormente, y son los que actualmente se emplean. Existen carenados que tienen únicamente la parte superior y los que son completos. La primera moto que apareció en el mercado dotada de un carenado integral estudiado aerodinámicamente y que aunaba las propiedades de protección con la reducción de la resistencia al avance fue la BMW R 100 RS de 1976. A partir de este momento, multitud de modelos han seguido su ejemplo, hasta el punto que hoy en día la práctica totalidad de los modelos de altas prestaciones disponen de algún tipo de carenado.

En un carenado no solamente influye la penetración aerodinámica, sino que debe actuar sobre otros factores. Los más importantes son la protección y la canalización del aire en el interior de la moto. La protección como ya se ha comentado está

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

normalmente reñida con la penetración y el logro de un buen Cx. Este tipo de carenados suelen disponer de cúpulas bastante altas, y secciones frontales anchas. En ocasiones, con el fin de reducir la resistencia aerodinámica, se instalan cúpulas de altura variable. Este tipo de pantallas pueden accionarse manualmente regulando la altura mediante su inclinación, o eléctricamente, con sistemas más elaborados. En la Ilustración 4 se pueden observar dos sistemas de este tipo, el A manual y el B eléctrico.

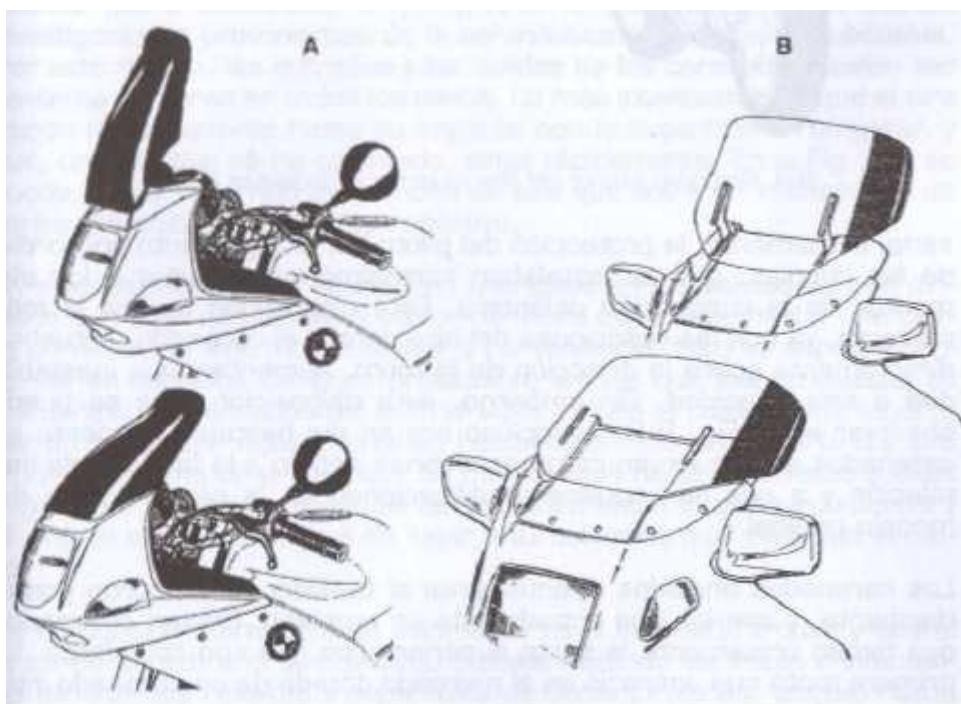


Ilustración 4: Cúpula de posición variable

La llegada de aire fresco a las zonas que requieren refrigeración y a la caja de filtro de aire es otro de los puntos a vigilar muy estrechamente. Un carenado completamente cerrado mantiene el motor sin un suficiente flujo de aire, lo que repercute en su funcionamiento. Por ello, los carenados actuales disponen de múltiples entradas y salidas. Se debe intentar que el coeficiente Cx aumente lo mínimo posibles, por lo que las investigaciones provenientes de la aeronáutica son bastante habituales. Por este motivo, las entradas y las salidas de los carenados suelen ser bastante similares en todos los casos. Lo más interesante es que el aire fresco no se caliente hasta su impacto con la superficie a refrigerar, y que, una vez que se ha calentado, salga rápidamente.

En algunos modelos se establecen trampillas en las salidas de aire dirigidas a la zona que ocupa el piloto, de modo que puede recibir una cierta corriente de aire frío o

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

caliente a conveniencia. Esto es especialmente útil en modelos de gran protección, en los que los ocupantes se encuentran tan aislados del exterior, que incluso el calor puede llegar a ser un problema. Actualmente es bastante común dirigir parte del aire frontal a la zona de protección, de manera que no se establezca a altos regímenes una gran diferencia de velocidad entre el aire circundante y el alojado en esta zona, que da lugar a turbulencia que molestan al piloto.

En un conjunto completo, no solamente es el carenado frontal y lateral el elemento sobre el que se debe trabajar afilando las líneas e intentando eliminar los resaltes y superficies de impacto planas, también tiene influencia el resto de los elementos. La forma y el volumen de la parte trasera, conocida habitualmente como “colín”, el estudio de integración de las maletas laterales si existen, las tapas laterales, la influencia del giro de las ruedas, el guardabarros de éstas, la presencia o no de un pasajero, etc....., son muy importantes.



Ilustración 5: Carenado de gran protección

En general se pueden distinguir tres formas principales de carenados en la actualidad. Por una parte, los carenados de protección sin ninguna misión aerodinámica, que normalmente perjudican el Cx con el fin de reducir el impacto del aire sobre el piloto. Muchas veces se anclan directamente a la dirección y suelen disponer de superficies muy planas. El segundo grupo considerado está compuesto por los carenados de misión fundamental de protección, pero que han recibido un cierto estudio para

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

disminuir la resistencia aerodinámica. En la Ilustración 5 se puede ver uno de ellos. Por último se encuentran los carenados deportivos, que también cumplen funciones de protección, pero en los que la misión primordial es mejorar el coeficiente C_x , y en los que el piloto debe ocupar una posición muy recogida para beneficiarse de los efectos protectores. Este tipo de carenado se puede ver en la Ilustración 6.



Ilustración 6: Carenado de corte deportivo

Lo normal es que los carenados actuales están fabricados en material plástico, y formados por una larga serie de piezas que ensamblan adecuadamente. En la Ilustración 7 se puede observar todas las piezas que forman el carenado de una motocicleta deportiva, entre las cuales se aprecian las que suelen ser comunes en la mayoría de los modelos. El frontal se señala con la letra A, los paneles laterales con la B y la C, la cúpula con la D, la quilla con la E. Además se incluyen una serie de accesorios comunes en la mayoría de las motos, como el anclaje formado por tubos metálicos conocido como “araña”, que se señala con la letra F.

No hay que olvidar tampoco que los carenados no solamente cumplen una función aerodinámica en la actualidad, sino también una estructural y estética. En numerosos modelos, avances y novedades cumplen más una función puramente visual que práctica, ya que la distinción entre los diferentes modelos se basa normalmente en la forma de su carenado y en la decoración elegida.

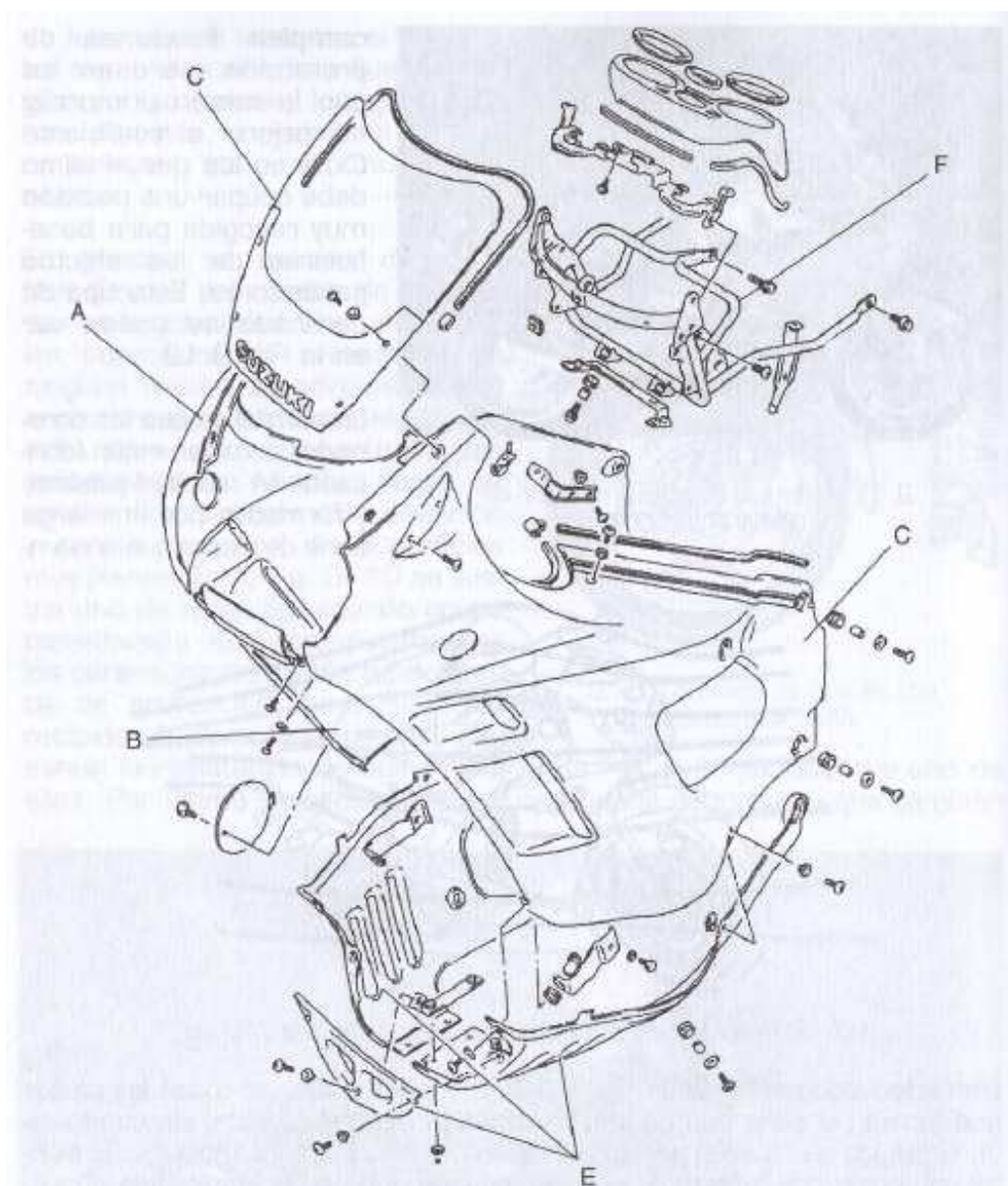


Ilustración 7: Elementos que componen un carenado



3. MOTOSTUDENT

3.1. Objetivo de la competición

La competición MotoStudent promovida por la fundación Moto Engineering Foundation (MEF) es un desafío entre equipos universitarios de distintas Universidades españolas, europeas y del resto del mundo.

Consiste en diseñar y desarrollar un prototipo de moto de competición de pequeña cilindrada 250 4T, que competirán en unas jornadas que se llevarán a cabo inicialmente en las instalaciones de la Ciudad del Motor de Aragón. Para el propósito de esta competición, el equipo universitario debe considerarse integrado en una empresa fabricante de motos de competición, para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unos condicionantes técnicos y económicos dados. La competición en sí misma es un reto para los estudiantes, donde estos en un periodo de tiempo de tres semestres han de demostrar y probar su capacidad de creación e innovación y la habilidad de aplicar directamente sus capacidades como ingenieros en comparación con los otros equipos de universidades de todo el mundo.

3.2. Reglamento

A continuación expondremos la reglamentación y restricciones de diseño impuestas por la organización de MotoStudent y que hemos de tener en cuenta para nuestro diseño.

3.2.1. Llantas y neumáticos

La organización suministrará las llantas y neumáticos y se prohíbe su modificación.

Sus dimensiones serán:

Delanteras 2.50"x17"

Traseras, 3.50" x 17

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en la fabricación de los ejes de ruedas.

Esta permitido el uso de protectores de nilón en los extremos del eje para posibles caídas. Estos protectores deberán ser redondeados con un diámetro igual o superior al del eje utilizado.

Los ejes de rueda no podrán sobresalir de su alojamiento en sus extremos más de 30mm. No se consideran en esta medida posibles protectores de nilón.

3.2.2. Carenados

3.2.2.1. Restricciones dimensionales

Todos los bordes y acabados del carenado han de ser redondeados. Radio mínimo 1 mm.

La anchura máxima del carenado será de 600 mm.

Límite frontal: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático delantero.

Límite posterior: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical posterior trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático trasero.

Lateralmente: El carenado no podrá cubrir lateralmente al piloto a excepción de los antebrazos (esta excepción solamente en posición de mínima resistencia aerodinámica del piloto). La llanta posterior no podrá cubrir-se en más de 180°.

Entre la altura del asiento y la parte más elevada del colín la cota máxima será de 150 mm.

La utilización de guardabarros no es obligatoria.

El guardabarros delantero no podrá cubrir más de 135° de la circunferencia del neumático medido desde la parte posterior del neumático con origen del ángulo en la horizontal que pasa por el eje de rueda. En esos 135° las dimensiones del guardabarros son libres.

Esta permitido el uso de alerones como pieza del carenado. Deberán no superar la anchura del carenado o del colín ni superar la altura de los extremos del manillar. El radio mínimo será de 2 mm. Se permite el uso de dispositivos móviles aerodinámicos.

3.2.2.2. Seguridad

Todos los sobraderos de la motocicleta deberán redirigirse a un depósito de un mínimo de 250 cm³ de capacidad para evitar vertido de líquidos. (Sobradero de aceite cárter, depósito de gasolina, refrigerante).

3.3. Circuito

La prueba se llevará a cabo en el circuito de velocidad de Alcañiz (MotorLand Aragón). El circuito fue diseñado por Hermann Tilke, uno de los más importantes diseñadores de circuitos del mundo, con la colaboración del piloto de F1 Pedro de la Rosa, asesor técnico del complejo. Posee una superficie total de 1.320.000 m² y una longitud de 5.345 m, existe la posibilidad de dividirlo en 2 circuitos independientes, además de poder utilizarse en diferentes configuraciones.

3.3.1. Información Técnica

Paddock Principal: 44.000 m².

Paddock Secundario: 9.000 m².

Servicio de Restaurante. Salas VIP.

Número de Boxes: 24 de 144 m² y 12 de 96 m².

Aparcamientos: 950.650 m².

Sala de prensa: principal para 270 personas y secundaria para 30 personas.

3.3.2. Homologaciones

FIA Automovilismo: Test de Fórmula 1.

FIM Motociclismo: Máxima homologación internacional.

3.3.3. Ubicación

La Ciudad del Motor (MotorLand Aragón) se construye en un terreno de 3.500.000 m² ubicado a 5 Km de Alcañiz.

Un emplazamiento situado en el centro de un área con 25 millones de habitantes, ya que Madrid, Bilbao, Barcelona, Valencia, Pau o Toulouse se encuentra a una distancia de unos 300 Km.

3.3.4. Datos del circuito

La prueba se realizará en una de las configuraciones cortas del circuito, como podemos observar en la Ilustración 8.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

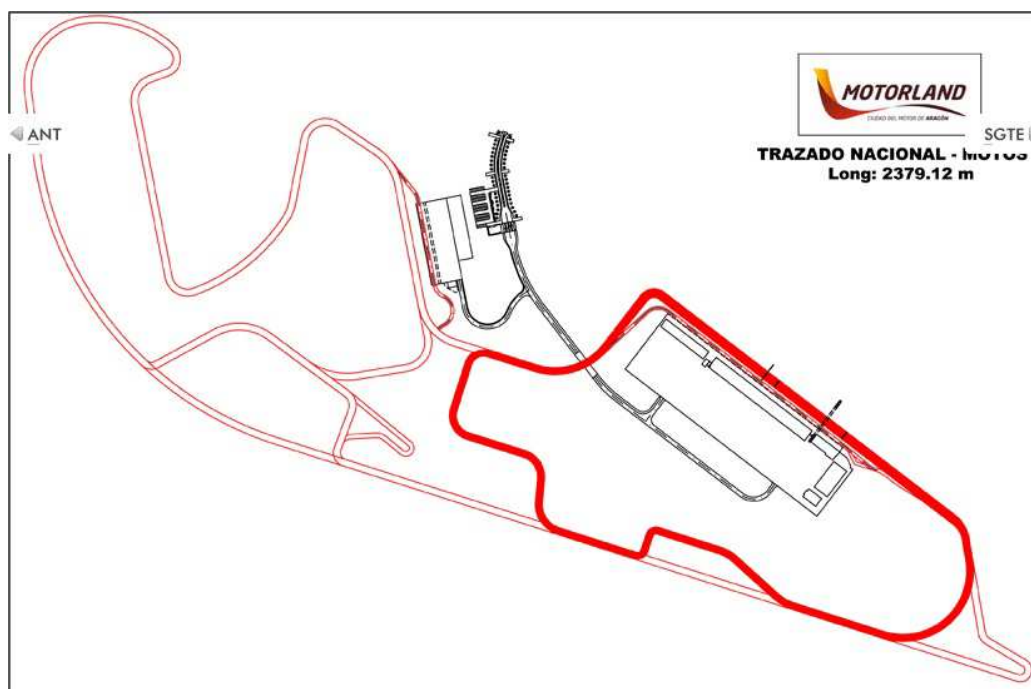


Ilustración 8: Trazado Nacional de Motos

Además del trazado del circuito, debemos tener en cuenta la densidad y viscosidad del aire en el circuito de MotorLand. Como podemos observar en la Ilustración 9 la temperatura media anual en Alcañiz es de 14,7°C.

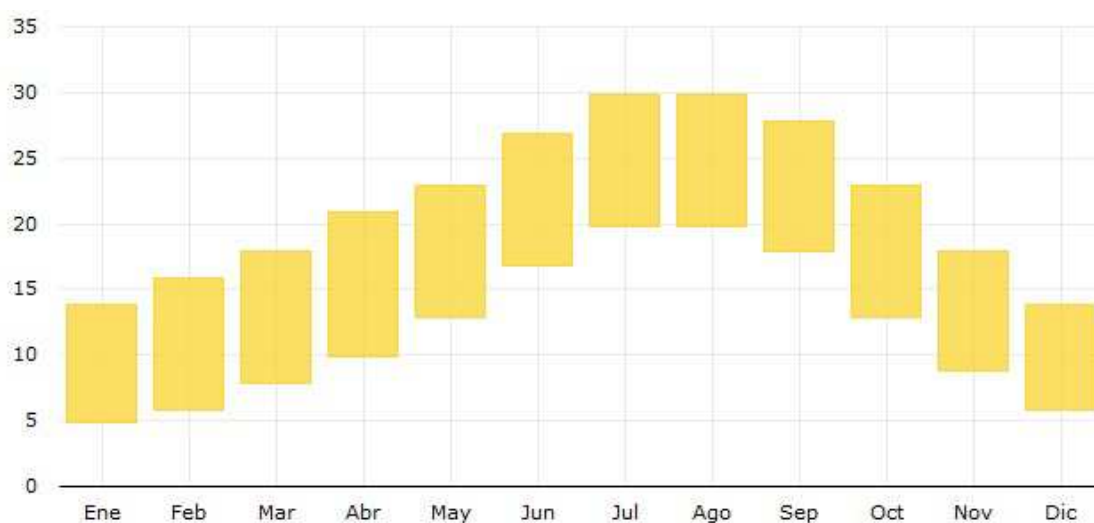


Ilustración 9: Temperaturas anuales en Alcañiz

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Una vez visto esto, consideramos los siguientes valores para el aire a 1 atm y 14,7°C. Para el cálculo de la densidad de nuestro fluido utilizamos la fórmula de los gases ideales (3.1).

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (3.1)$$

Dónde:

p (presión atmosférica)= 1 atm= 101315 Pa

T (temperatura media anual en Alcañiz)= 14,7°C= 287,7K

R (constante universal de los gases ideales)= 287 J/(kg·K)

Para el cálculo de la viscosidad dinámica utilizamos la fórmula de Sutherland (3.2).

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2} \frac{T_0 + S}{T + S} \quad (3.2)$$

Dónde:

μ (viscosidad dinámica del gas)

μ_0 (viscosidad de referencia en la temperatura de referencia)= $1,71 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$

T (temperatura del gas)= 14,7°C= 287,7K

T_0 (temperatura de referencia)= 0°C= 273K

S (constante de Sutherland para el aire)= 120K

De las ecuaciones (3.1) y (3.2) obtenemos la densidad y la viscosidad del aire, respectivamente, en nuestro circuito.

$$\rho = 1,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \mu = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$$



4. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

4.1. Introducción

Comenzaremos definiendo flujo externo, aquellos flujos alrededor de cuerpos inmersos en una corriente fluida. Estos flujos presentan efectos viscosos (de cortadura y no deslizamiento) cerca de las superficies del cuerpo y en el interior de la estela, pero comúnmente son no viscosos lejos del cuerpo.

Al no estar confinados pueden expandirse sin importar cuánto crezca su capa límite. La teoría de la capa límite y la Mecánica de Fluidos Computacional (CFD, Computational Fluid Dynamics), son muy útiles para comprender los flujos externos, aunque para cuerpos con geometría complicadas (como es el caso de la estructura madre del guardabarros) suelen requerir métodos más experimentales.

En nuestro caso, nos centraremos en el estudio aerodinámico de los perfiles de nuestros alerones, ya que son la parte fundamental en la variación que buscamos en la sustentación de nuestra moto. Y el estudio se llevará a cabo teniendo en cuenta la teoría de la capa límite y por medio de la Mecánica de Fluidos Computacional (CFD).

Antes de comenzar los cálculos de nuestro diseño debemos plantear las condiciones a las que va a trabajar, es decir la corriente fluida a través de la cual se moverá nuestro dispositivo aerodinámico.

Supondremos una velocidad media de paso por curva de unos 100 km/h o 27.77 m/s, la cual está un tanto sobredimensionada ya que tenemos en cuenta la acción de posibles corrientes de aire desfavorables.

Las consideraciones que debemos tener para definir nuestra corriente fluida son, la estacionariedad de la corriente, la compresibilidad, el tipo de flujo (laminar o turbulento) y también influirá sobre la capacidad de sustentación la capa límite.

4.2. Capa límite

La variable del fluido que controla el transporte de la cantidad de movimiento es la viscosidad, lo que significa que, determina la relación entre el esfuerzo o tensión local en un fluido en movimiento con la velocidad con que sucede la deformación del fluido, a lo que se denomina proceso de fluir.

En el caso de flujos muy ordenados en los que las partículas se desplazan en trayectorias rectas y paralelas, Newton en sus “Principia” (“Philosophiæ naturalis principia mathematica”, 1687) promulgó lo que se denomina la ley de Newton de la viscosidad: “el esfuerzo cortante en cualquier entre fase tangente a la dirección del flujo es

proporcional a la variación de la velocidad en la dirección normal al movimiento”; matemáticamente, se expresa:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

A lo largo del siglo XVIII se propusieron soluciones a flujos en los que se despreciaba la viscosidad: Daniel Bernoulli (“Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii”, 1738), Jean d’Alembert (“Traité de l’équilibre et du mouvement des fluides”, 1744), Leonhard Euler (“Principia motus fluidorum” 1756), Estas teorías eran útiles para describir el movimiento de los fluidos en regiones del flujo para las cuales los gradientes de velocidad eran pequeños, pero estaban en completa contradicción con la experimentación en cuanto a las fuerzas que se oponían al movimiento, es decir, fuerzas de arrastre sobre los cuerpos. Las consideraciones de flujo no viscoso llevaba a la conclusión de que el arrastre sobre un cuerpo inmerso en un fluido era nulo (paradoja de d’Alembert), y además eran incapaces de determinar las fuerzas perpendiculares al flujo (sustentación).

En 1904 Ludwig Prandtl publicó uno de los más importantes artículos de la Mecánica de Fluidos, consiguiendo enlazar la teoría clásica con los resultados sobre fricción de cuerpos sumergidos. Prandtl introdujo el concepto de capa límite, una delgada zona de fluido cercana a la superficie de los cuerpos, en la cual se presentan grandes variaciones de la velocidad y donde se concentran los efectos viscosos.

En términos generales se puede decir que, puesto que la viscosidad es bastante pequeña en casi todos los fluidos, los esfuerzos cortantes deben ser apreciables únicamente en las regiones en donde existan grandes gradientes de velocidad; el flujo en otras regiones se podría describir con gran exactitud por medio de las ecuaciones para flujo no viscoso. Las características más sobresalientes de la capa límite pueden describirse a través del caso del flujo sobre una superficie plana y fija, sobre la que se hace incidir una corriente uniforme de velocidad U_0 como la de la Ilustración 10.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Por efecto de la viscosidad, las partículas de fluido que están en contacto con una pared se hallan a la velocidad de la pared. En el caso del experimento propuesto en esta práctica, las partículas en contacto con la placa fija tendrán velocidad nula (Ilustración 10). En el borde de entrada de la placa hay una discontinuidad de la velocidad, puesto que antes del borde de ataque la velocidad es la del flujo uniforme e inmediatamente después la velocidad de las partículas que tocan la placa es nula. A partir del borde de ataque, la velocidad pasa gradualmente desde cero en la superficie de la placa hasta el valor de flujo uniforme (U_0) a una altura δ a partir de la cual la velocidad no varía ($du/dy=0$) siendo esta distancia δ el espesor de la capa límite; es decir la zona afectada por la viscosidad va desde la placa plana hasta el borde de la capa límite.

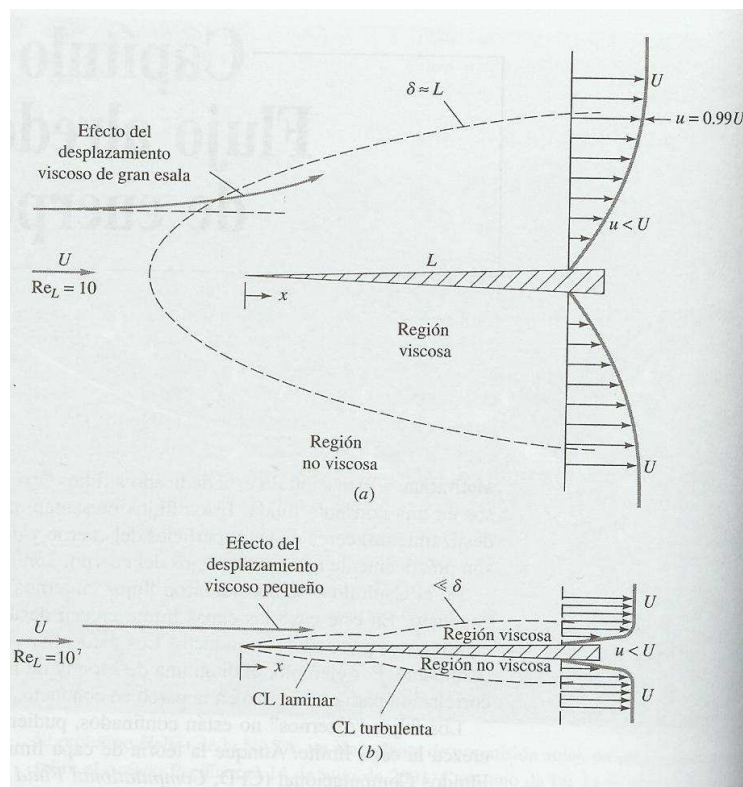


Ilustración 10: Comparación del flujo alrededor de una placa plana: (a) flujo laminar a bajos números de Reynolds; (b) flujo a altos números de Reynolds

Fuera de la capa límite el fluido, aunque sea viscoso, no se produce intercambio de cantidad de movimiento entre las distintas partículas porque el gradiente de velocidades es nulo.

Dado que, en la práctica, es difícil situar el punto en donde se anula el gradiente de velocidad, se suele definir el espesor de la capa límite, como la distancia desde el

punto de contacto con la placa plana al punto vertical para el cual la velocidad es el 99% de la velocidad de flujo uniforme, U_0 .

Mientras se va avanzando a lo largo de la dirección x , las partículas son frenadas cada vez más y por lo tanto el espesor δ de la zona de influencia viscosa va aumentando, con las partículas alineadas direccionalmente en lo que se denomina capa límite laminar hasta que, en un cierto punto el flujo se hace inestable, dando lugar a un crecimiento más rápido de la capa límite acompañado de un aumento de la turbulencia, es la zona denominada capa límite turbulenta. De todas formas, aún dentro de la región turbulenta, existe una delgada capa pegada a la superficie, en la cual las partículas están ordenadas direccionalmente en un flujo laminar, es lo que se denomina subcapa límite laminar.

Prandtl estableció las ecuaciones para el flujo en la capa límite laminar, a partir de las ecuaciones de Navier-Stokes, con las siguientes hipótesis: el espesor de la capa límite es pequeño en comparación con otras dimensiones geométricas, el flujo es estacionario y bidimensional, y la presión es constante a través de cualquier sección transversal.

Un discípulo de Prandtl, Blasius, resolvió analíticamente las ecuaciones para la capa límite laminar sobre una placa plana sin gradiente de presión, condición similar a la de esta práctica; Blasius obtuvo la siguiente expresión del espesor de la capa límite en la zona laminar, que se adapta bastante bien a los resultados obtenidos de forma experimental:

$$\delta = \frac{4.91x}{\sqrt{Re_x}}$$

Donde Re_x es el número de Reynolds asociado a la distancia x desde el borde de ataque a la sección considerada:

$$Re_x = \frac{U_0 x}{\nu}$$

4.3. Estacionariedad de la corriente fluida

Podemos considerar un flujo como estacionario cuando todos los términos que posean derivadas temporales que describen el flujo son nulos. Con esto lo que queremos decir es, que el estado estacionario de un flujo ocurre en el momento en el que las propiedades del fluido en un punto no varían a lo largo del tiempo. En el caso de que varíen, tenemos un flujo transitorio.

Esta propiedad del fluido puede depender desde el punto de vista desde el que se estudia el mismo, es decir del sistema de referencia seleccionado. Tomemos como

ejemplo una esfera sumergida en un flujo laminar, alrededor de la esfera este flujo será estacionario en un sistema de referencia solidario a la esfera y por lo tanto también será estacionario con respecto a la esfera. Por otra parte si el sistema de referencia se establece en un flujo de fondo, el flujo analizado sería transitorio.

Como hemos visto anteriormente un flujo laminar puede ser estacionario o transitorio, dependiendo del sistema de referencia escogido, sin embargo los flujos turbulentos son transitorios por definición.

Para los flujos transitorios, es necesario realizar ciertas consideraciones para poder simplificar el cálculo y acercar el resultado a la realidad. Por lo tanto, un flujo transitorio puede considerarse estadísticamente estacionario.

Desde el punto de vista matemático, un proceso estadísticamente estacionario es un proceso estocástico, es decir una serie de variables aleatorias que evolucionan en función de otra variable (el tiempo), cuya distribución de probabilidad compuesta permanece constante cuando se varía en el tiempo o el espacio. Debido a esto la media y la varianza permanecen invariables, por lo que se considera un caso estacionario válido.

Las ecuaciones que rigen un flujo estacionario presentan una dimensión menos que las que rigen el mismo problema sin la ventaja de la estacionariedad del campo fluido, y esa dimensión es el tiempo.

4.3.1. Caso de estudio

Teniendo en cuenta lo expuesto con anterioridad tomaremos nuestro caso a estudio como un flujo estacionario por las siguientes razones:

- Consideraremos las propiedades del flujo homogéneas, ya que debido a las dimensiones que ocupa y el emplazamiento geográfico del circuito estas no variaran de forma significativa.
- Debido a la duración de la prueba las propiedades del flujo tampoco variaran a lo largo del tiempo.
- Nos interesa conocer el coeficiente aerodinámico y para ello es necesario realizar un ensayo con un flujo constante.

4.4 Compresibilidad del Flujo

Cuando un fluido se mueve a velocidades comparables a la velocidad del sonido, las variaciones de densidad se hacen importantes y el flujo se denomina compresible. Este tipo de flujos es bastante habitual en gases, no tanto en fluido ya que necesitan elevadas presiones para alcanzar velocidades sónicas. Lo que ocurre cuando un flujo es compresible es que las variaciones de densidad son significativas por lo tanto la ecuación de estado nos señala que las variaciones de temperatura y presión también lo son. Esas grandes variaciones de temperatura implican que la ecuación de la energía ya no puede suprimirse. Por tanto, el problema se ha complicado al pasar de dos ecuaciones a cuatro:

1. Ecuación de continuidad
2. Ecuación de la cantidad de movimiento
3. Ecuación de la energía
4. Ecuación de estado

Que deben resolverse simultáneamente para obtener las cuatro incógnitas. Por esta razón se busca la incompresibilidad como hipótesis.

Para poder determinar si nuestro flujo es compresible o incompresible utilizaremos como criterio el número de Mach.

$$Ma = \frac{V}{a}$$

Donde V es la velocidad de flujo y a es la velocidad del sonido en el fluido. Si el número de Mach es pequeño, las variaciones de densidad suelen ser pequeñas en todo el campo fluido. La ecuación de la energía queda desacoplada, y los efectos de la temperatura pueden ser omitidos. La ecuación de estado únicamente nos indicará que la densidad es constante. Por esta razón, el estudio de los flujos incompresibles solo precisa de dos ecuaciones, ecuación de continuidad y cantidad de movimiento, simplificando enormemente los cálculos.

Los estudios aerodinámicos suelen distinguir entre los diferentes rangos del número de Mach, nos basaremos en la siguiente clasificación aproximada para la identificación de nuestro flujo, ya que es la más extendida:

- **$Ma < 0.3$: flujo incompresible**, los efectos de la densidad son despreciables.
- **$0.3 < Ma < 0.8$: flujo subsónico**, comienzan a cobrar importancia los efectos de la densidad, pero no aparecen ondas de choque.

- **0.8 <Ma< 1.2: flujo transónico**, aparecen por primera vez las ondas de choque que separan regiones subsónicas y supersónicas dentro del flujo.
- **1.2 <Ma< 3.0: flujo supersónico**, donde hay ondas de choque pero ya no existen regiones subsónicas.
- **3.0 <Ma: flujo hipersónico**, donde las ondas de choque y otros cambios que experimenta el flujo son especialmente fuertes.

Estas cinco categorías de flujo son válidas para la aerodinámica externa no para flujos internos.

4.4.1 Caso de estudio

Para el caso en el que realizamos nuestro análisis aerodinámico, utilizaremos una velocidad de 100 Km/h, como se indicó en la introducción, además sabemos que la velocidad del sonido en nuestro fluido (aire) es de 1224 Km/h. Así que teniendo estos datos en cuenta hallamos en número de Mach:

$$Ma = \frac{V}{a} = \frac{100}{1224} = 0.082 < 0.3$$

Viendo este resultado y basándonos en la clasificación realizada con anterioridad podemos afirmar que tenemos un flujo incompresible.

4.5 Tipo de flujo

Definiremos el comportamiento viscoso de un fluido, existiendo dos categorías: flujo laminar y flujo turbulento. Para definir este comportamiento utilizaremos el número de Reynolds, que es un parámetro adimensional primario que determina el comportamiento viscoso de los fluidos newtonianos:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu}$$

Donde ρ es la densidad del fluido, μ es la viscosidad del fluido, V es la velocidad característica del flujo y L es la longitud característica del flujo. Además el cociente μ/ρ tiene significado propio y se denomina viscosidad cinemática:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Sabiendo esto también podemos escribir el número de Reynolds en función de la inversa de la viscosidad cinemática, es decir:

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

Los valores numéricos del número de Reynolds dependen de la geometría del flujo, sin embargo podemos considerar los siguientes rasgos indicativos:

- **0<Re<1:** *valores muy pequeños de Re indican un movimiento lento y viscoso donde los efectos de inercia son despreciables.*
- **1<Re<100:** *laminar, existe una fuerte dependencia del número de Reynolds.*
- **100<Re<10³:** *laminar es útil la teoría de la capa límite.*
- **10³<Re<10⁴:** *transición a la turbulencia.*
- **10⁴<Re<10⁶:** *turbulento, moderada dependencia del número de Reynolds.*
- **10⁶<Re:** *turbulento, débil dependencia del número de Reynolds.*

5. DISEÑO DE LOS ALERONES

5.1 Introducción

En este capítulo expondremos los criterios utilizados para conseguir un diseño competente de nuestros alerones. Para esto tendremos en cuenta y basaremos nuestros diseños en los perfiles aerodinámicos (como los utilizados en las alas de los aviones), solo que nuestro objetivo no es conseguir una mayor sustentación del vehículo con la finalidad de mantenerlo en el aire, es decir de que nuestro vehículo vuele, sino que lo que buscamos es una mayor fuerza de sustentación para mantener nuestro vehículo pegado al suelo, buscamos aprovechar al máximo el agarre de los neumáticos en paso por curva.

Debemos tener en cuenta una serie de parámetros para el correcto diseño de nuestros perfiles y su posterior funcionamiento.

5.2 Terminología de perfiles aerodinámicos

Empezaremos por definir la terminología del perfil (Ilustración 11 e Ilustración 12).

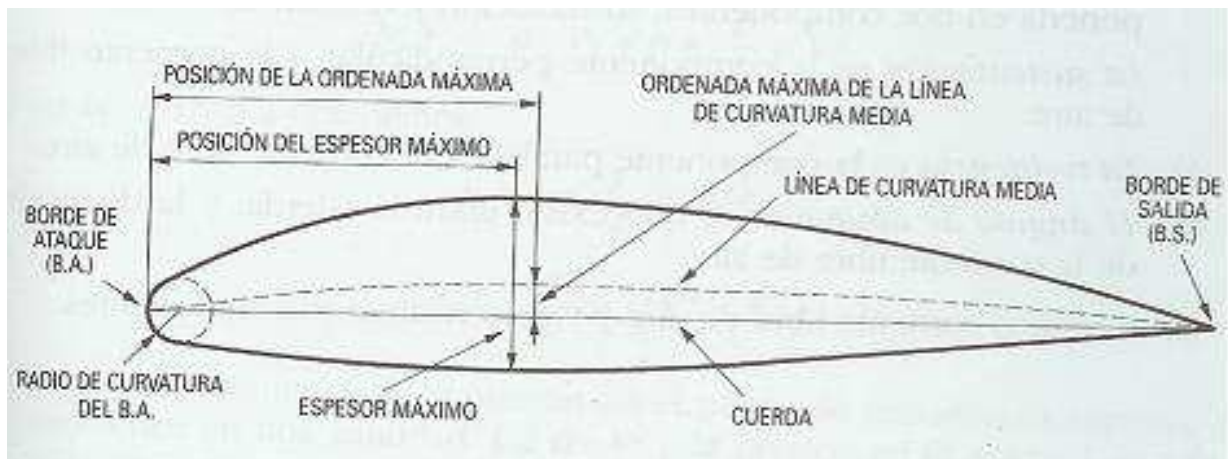


Ilustración 11: Partes perfil aerodinámico

Cuerda: Es la línea recta que une el borde de ataque (b.a) con el borde de salida (b.d). Es una dimensión característica del perfil.

Línea de curvatura media: Es una línea equidistante entre la extradós y el intradós. La forma de esta línea es muy importante en las características aerodinámicas del perfil; en definitiva, fija la curvatura del perfil. Si la línea de

curvatura media, cae por encima de la cuerda como en la Ilustración 11, se dice que la curvatura si va en un tramo por arriba y en otro por debajo.

Ordenada máxima de la línea de curvatura media: Es la máxima distancia entre la línea de curvatura media y la cuerda; este valor y su posición a lo largo de la cuerda ayuda a definir la forma de la línea de curvatura media. El valor de la ordenada máxima, y su posición suelen darse en forma de % de la cuerda.

El espesor y la distribución de espesor: Son dos características importantes. El valor del espesor máximo y su posición se expresan en % de la cuerda. El valor del espesor varía desde un 3% en los muy delgados hasta un 18% en los muy gruesos.

El radio de curvatura del b.a.: Define la forma del b.a., y es el radio de un círculo tangente al extradós e intradós, y con su centro situado en la línea tangente en el origen a la línea de curvatura media.

Su magnitud define la agudeza del b.a. y tiene efectos importantes en las características de pérdida. Un radio de curvatura de b.a. de valor pequeño significa un b.a. agudo y puede causar una separación temprana de la capa límite cerca del b.a.

La acción de la corriente de aire sobre un perfil produce, por diferentes motivos, una fuerza aerodinámica. Esta fuerza es usual descomponerla en dos componentes: sustentación y resistencia.

La sustentación es la componente perpendicular a la corriente libre de aire.

La resistencia es la componente paralela a la corriente libre de aire

El ángulo de ataque es el que existe entre la cuerda, y la dirección de la corriente libre de aire.

Los términos corriente libre de aire y viento relativo son equivalentes.

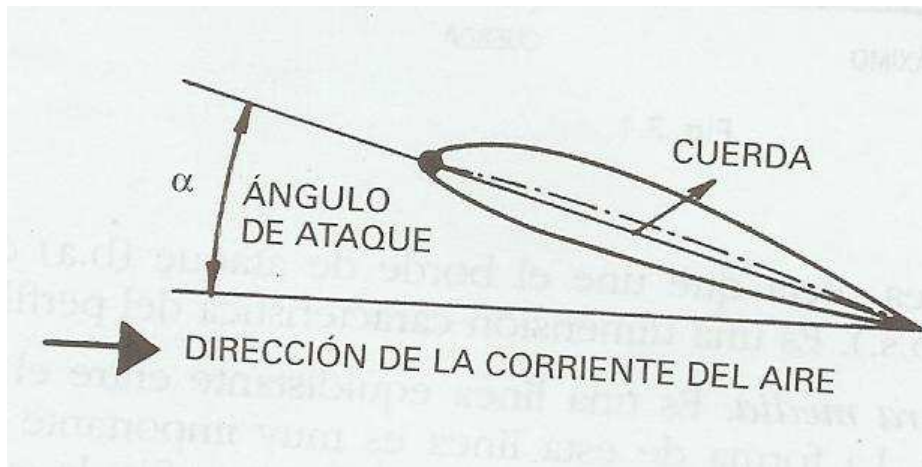


Ilustración 12: Ángulo de ataque

Valores típicos de algunos de estos parámetros son:

Espeso máximo: 12% de la cuerda, y situado en el 30% de ésta (a partir del b.a.)

Ordenada máxima de la línea de curvatura media: 4% y situada en el 40% de ésta.

5.3 Sustentación y Resistencia

Supongamos que colocamos un perfil asimétrico en un túnel aerodinámico, comúnmente llamado túnel de viento. Observamos que en nuestro perfil aparecen dos fuerzas, una en la dirección de la corriente de aire: resistencia y la otra en dirección perpendicular: sustentación.

Si colocamos el mismo perfil variando el ángulo de ataque y manteniendo el resto de parámetros constantes, y medimos las fuerzas de sustentación y resistencia originadas. Ahora efectuamos los cocientes de L entre $q \cdot S$, siendo L la fuerza de sustentación, S la superficie alar y q la presión dinámica, obtendríamos un coeficiente adimensional, denominado C_L , coeficiente de sustentación.

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (5.1)$$

$$C_L = \frac{L}{q \cdot S} \quad (5.2)$$

Efectuando los mismos pasos con la resistencia D , veríamos que las fuerzas de resistencia D variarían con la velocidad, densidad y ángulo de ataque, pero el

coeficiente de resistencia C_D , definido como: $C_D = D/(q \cdot S)$ sólo depende del ángulo de ataque.

Al igual que el coeficiente de resistencia, el coeficiente de sustentación depende solamente del ángulo de ataque, porque como podemos ver en la ecuación (5.2) aunque aumentemos la velocidad, aumenta la fuerza de sustentación pero también aumentara el cociente $q \cdot S$.

5.4 Influencia del tipo de perfil sobre el coeficiente de sustentación

El tipo de perfil influirá en el coeficiente de sustentación y por lo tanto en la fuerza de sustentación.

Para perfiles asimétricos aunque presenten un ángulo de ataque igual a cero, existirá sustentación, y por tanto C_L , ya que debido a la curvatura, incluso con un ángulo de ataque igual a cero, habrá mayor velocidad en el extradós, y por tanto una distribución de presiones como la indicada en la Ilustración 13. En el caso de perfiles simétricos y con ángulo de ataque cero, la sustentación es nula y por tanto también el C_L , debido a una distribución de presiones simétrica, como podemos observar en la Ilustración 13.

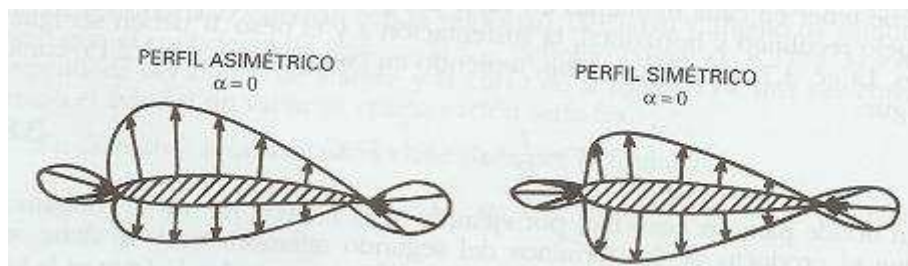


Ilustración 13: Distribución de Presiones

A continuación, en la Ilustración 14 se ha representado los C_L de diversos tipos de perfiles. Podemos ver la variación de C_L en función del espesor en el caso de los perfiles simétricos. Por otro lado, observamos que para perfiles asimétricos aun teniendo un ángulo de ataque negativo, existe un C_L y por tanto sustentación, para que este tipo de perfiles diera un C_L nulo habría que ponerlo en ángulo negativo como observamos en la Ilustración.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

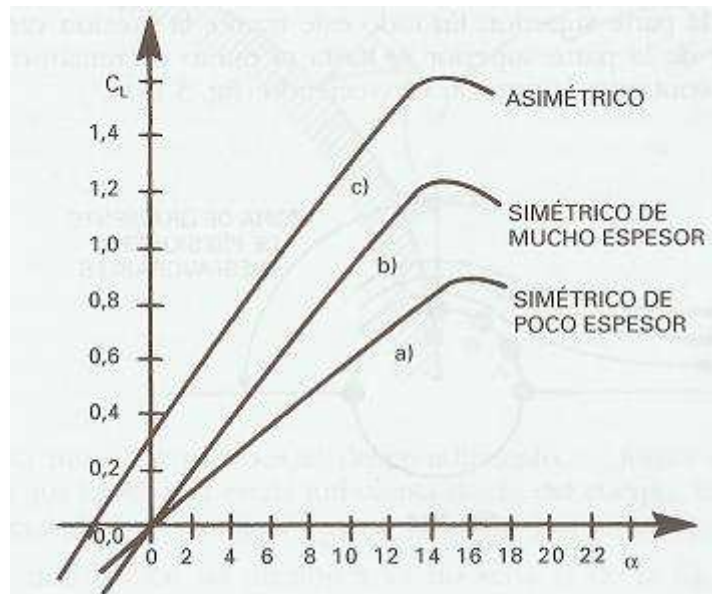


Ilustración 14: Coeficiente de sustentación, para distintos perfiles

En cuanto a la obtención de un $C_{Lm\acute{a}x}$, ocurre a una configuración determinada y a un ángulo de ataque fijo. Los factores que influyen son:

- Radio de curvatura en el b.a. A mayor radio, mayor será el $C_{Lm\acute{a}x}$.
- Curvatura. Una mayor curvatura también lo aumenta al aumentar la circulación alrededor del perfil.
- Espesor. Hasta unos valores moderados, alrededor del 14%, a mayor espesor mayor $C_{Lm\acute{a}x}$ por encima del 14% suele decrecer.
- Número de Reynolds. El valor aumenta con el Número de Reynolds.

5.5 Geometrías

Teniendo en cuenta lo visto anteriormente, diseñamos una serie de perfiles acordes con nuestras necesidades:

- Perfil asimétrico 1.
- Perfil asimétrico 2.
- Perfil simétrico.

5.5.1 Perfil Asimétrico 1

El primer diseño es un perfil asimétrico ya que sus características, desde el punto de vista teórico, son bastante adecuadas a nuestras necesidades.

Las medidas de este primer diseño son:

Borde de ataque: 10mm

Cuerda: 60mm

Espesor: 16,12%

Distribución del espesor: 22,7%

Ordenada máxima de la línea de curvatura media: 7,97%

Posición de la ordenada máxima: 49,18%

Ángulo de ataque: 28°

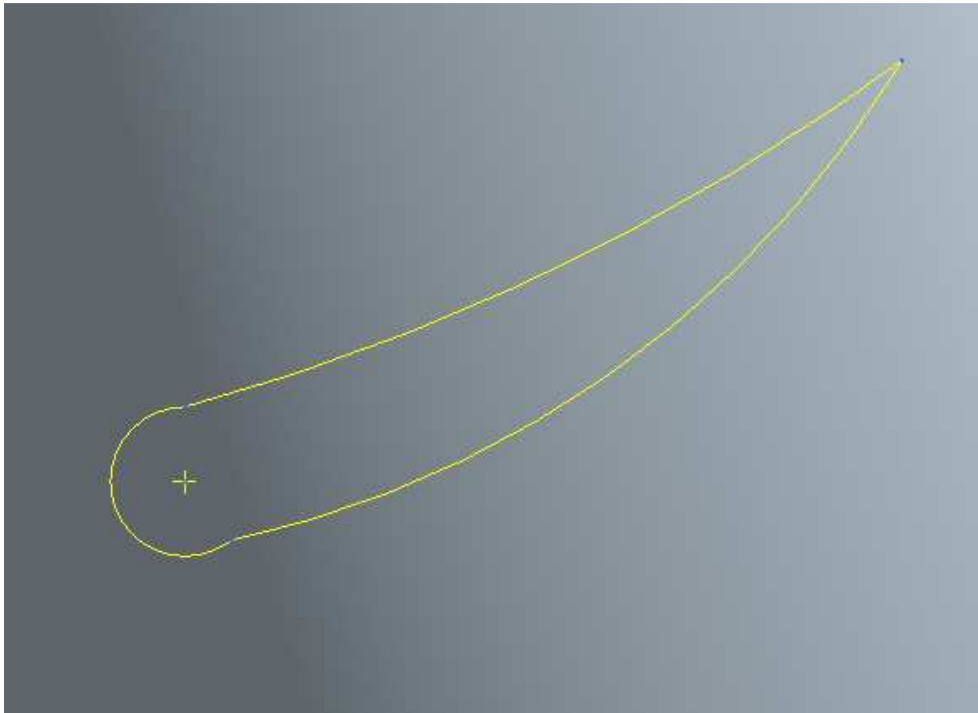


Ilustración 15: Perfil asimétrico 1

5.5.1 Perfil Asimétrico 2

Al igual que para el diseño primero, optamos por un perfil asimétrico. La diferencia con el primer perfil es que en lugar de presentar un radio de curvatura tanto en el intradós y el extradós, solo presenta cierta curvatura el extradós.

Las medidas de este segundo diseño son:

Borde de ataque: 10mm

Cuerda: 60mm

Espesor: 16,7%

Distribución del espesor:16,92%

Ordenada máxima de la línea de curvatura media:2,73%

Posición de la ordenada máxima:50%

Ángulo de ataque: 28°

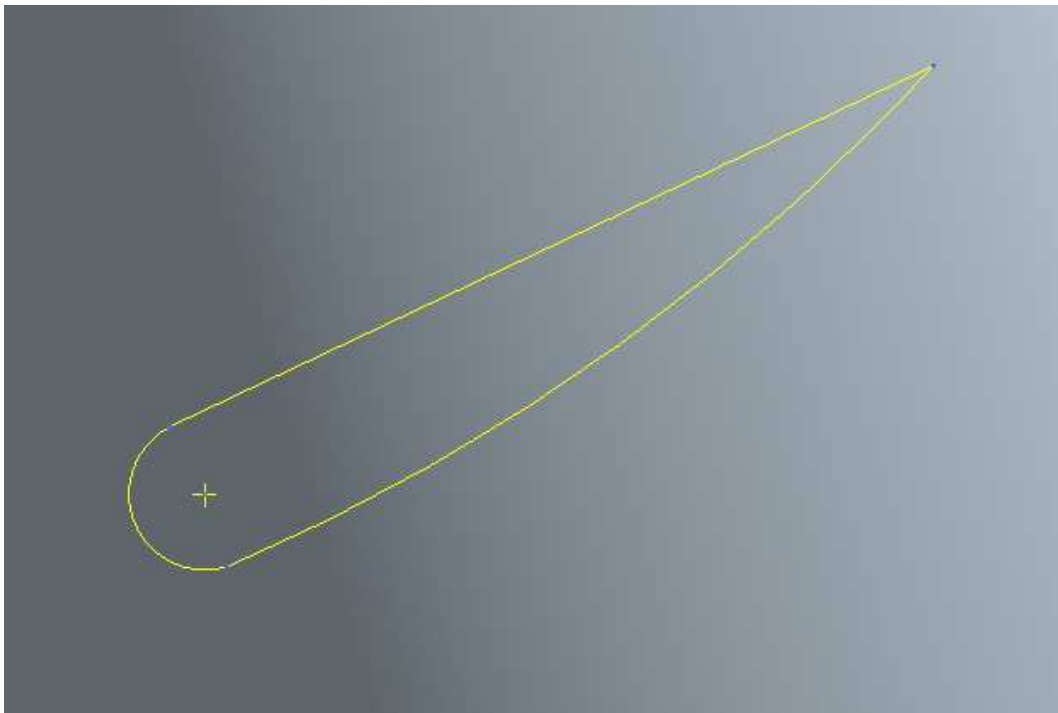


Ilustración 16: Perfil asimétrico 2

5.5.3 Perfil Simétrico

En el tercer diseño optamos por un perfil simétrico, ya que también es interesante probar las características de este tipo de perfiles para nuestro objetivo.

Las medidas de este tercer diseño son:

Borde de ataque: 10mm

Cuerda: 60mm

Espesor: 17,8%

Distribución del espesor: 35,63%

Ordenada máxima de la línea de curvatura media: 0%

Posición de la ordenada máxima: 0%

Ángulo de ataque: 28°

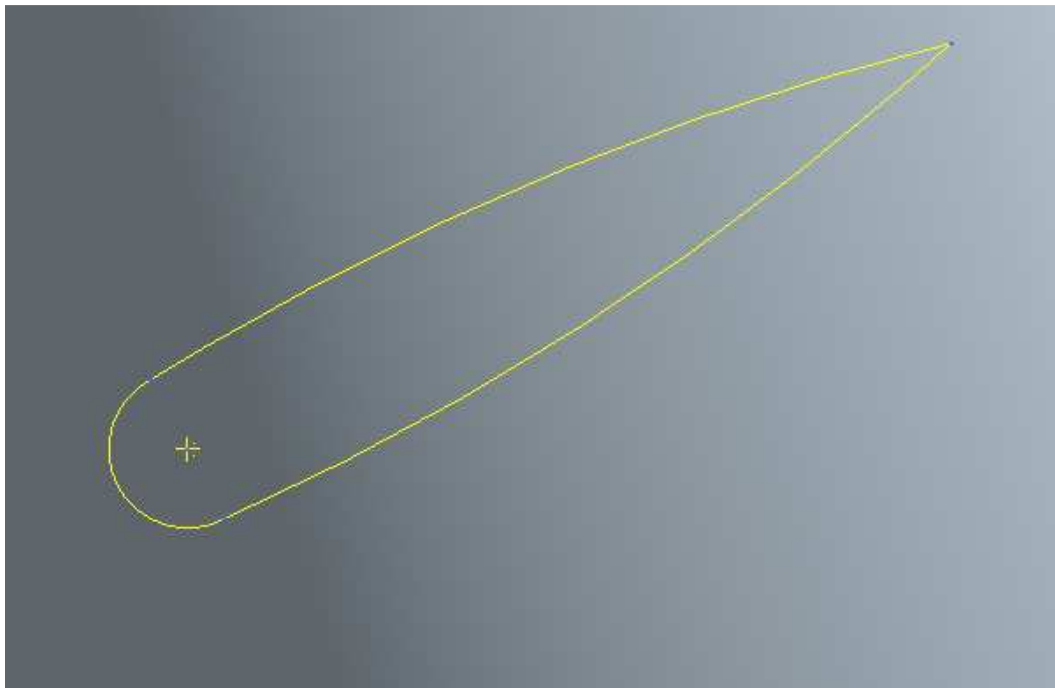


Ilustración 17: Perfil simétrico

6. CALCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

A continuación, calcularemos el número de Reynolds para los distintos diseños geométricos vistos en el capítulo 5 y teniendo en cuenta lo expuesto en el apartado número 5 del capítulo 4.

6.1 Perfiles simples

Conocemos los parámetros del número de Reynolds, muchos los hemos visto anteriormente, los cuales son:

$$\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

$$V = 27,777 \text{ m/s}$$

$$L = 0,06 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 27,777 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,06 \text{ m}}{1,78 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2} = 115168,54 \rightarrow 10^4 < Re < 10^6$$

Como hemos visto anteriormente, en el capítulo número 4, nos encontramos en la región turbulenta con moderada dependencia del número de Reynolds.

6.2 Perfiles flap Fowler

Conocemos los parámetros del número de Reynolds, muchos los hemos visto anteriormente, los cuales son:

$$\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

$$V = 27,777 \text{ m/s}$$

$$L = 0,092 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 27,777 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,092 \text{ m}}{1,78 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2} = 176586,82 \rightarrow 10^4 < Re < 10^6$$

Como hemos visto anteriormente nos encontramos en la región turbulenta con moderada dependencia del número de Reynolds.

6.3 Perfiles flap Fowler con ranura doble

Conocemos los parámetros del número de Reynolds, muchos los hemos visto anteriormente, los cuales son:

$$\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

$$V = 27,777 \text{ m/s}$$

$$L = 0,098 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 27,777 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,098 \text{ m}}{1,78 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2} = 188103,35 \rightarrow 10^4 < Re < 10^6$$

Como hemos visto anteriormente nos encontramos en la región turbulenta con moderada dependencia del número de Reynolds.

6.4 Perfiles Álula (slat) y flap Fowler con ranura doble

Conocemos los parámetros del número de Reynolds, muchos los hemos visto anteriormente, los cuales son:

$$\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

$$V = 27,777 \text{ m/s}$$

$$L = 0,108 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 27,777 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,108 \text{ m}}{1,78 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2} = 207297,57 \rightarrow 10^4 < Re < 10^6$$

Como hemos visto anteriormente nos encontramos en la región turbulenta con moderada dependencia del número de Reynolds



7. CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS AERODINÁMICAS

En este capítulo calcularemos las características aerodinámicas de nuestros perfiles mediante *AnsysFluent*, teniendo en cuenta todo lo expuesto en los temas anteriores. Además crearemos y explicaremos un sistema para calcular dichas características, el cual usaremos en los distintos perfiles.

Una vez realizados los cálculos de todos nuestros perfiles, estos serán comparados entre sí y los dos perfiles que tengan unas mejores características serán rediseñados para mejorar sus prestaciones.

La herramienta seleccionada para realizar los cálculos es *AnsysFluent*, este programa consta de una serie de módulos, los cuales son:

- **Geometría:** Este módulo se utiliza para definir la geometría del elemento que queremos calcular, en nuestro caso la geometría se ha realizado por medio del programa *Pro/Engineer*, sin embargo deberemos utilizar este módulo para definir un volumen de control.
- **Malla:** Este módulo es uno de los más importantes ya que en él se definirá la malla, y dependiendo de lo bien que esta sea definida nuestros cálculos serán más o menos precisos.
- **Fluent:** En este módulo expondremos nuestras condiciones de contorno y todos los parámetros relativos a los cálculos que debe de realizar, además de definir aquello que queremos que se calcule.

7.1 Geometría

En este módulo se crea la geometría, sin embargo en nuestro caso importaremos la geometría desde *Pro/Engineer* a través de un archivo *.igs*. Lo primero que haremos será crear el proyecto e importar la geometría.

Para comenzar editaremos la geometría. Al editarla debemos elegir las unidades de medida con las que queremos trabajar (Ilustración 18), en nuestro caso seleccionaremos los milímetros como unidad de medida.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

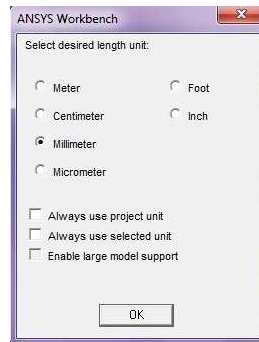


Ilustración 18: Panel de unidades de medida

A continuación generamos la geometría, y en la barra de herramientas (Tools) seleccionamos la opción *Freeze* (Ilustración 20). Tras esto la propia barra de herramientas seleccionamos la opción *Enclosure* (Ilustración 19), mediante esta opción generaremos un volumen de control con el que rodearemos a nuestro sólido.

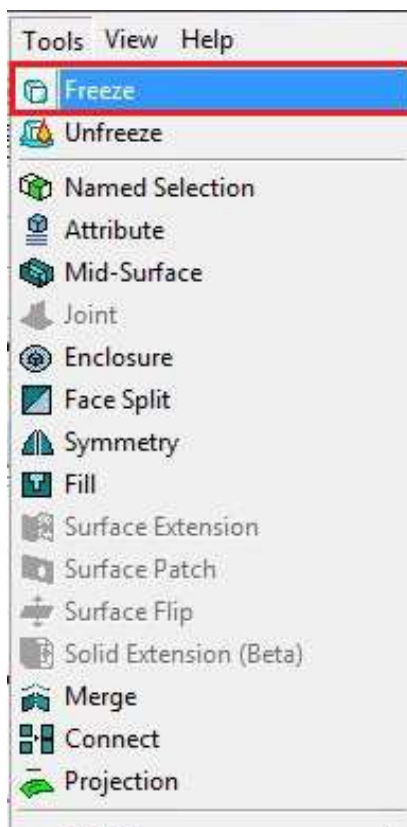


Ilustración 20: Barra de Herramientas 1

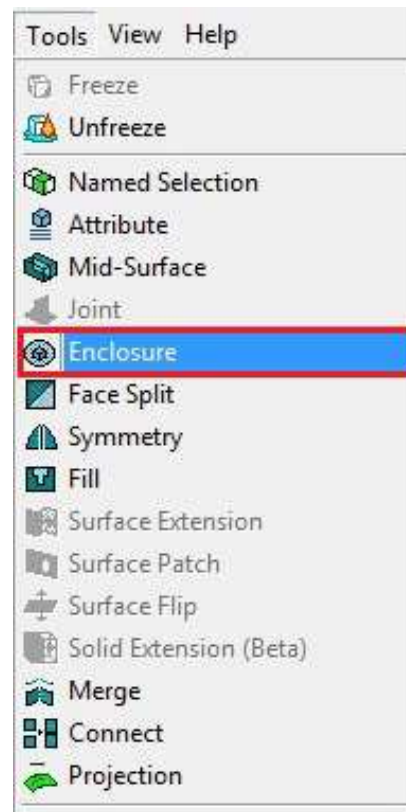


Ilustración 19: Barra de Herramientas 2

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Ahora debemos de definir nuestro volumen de control (Ilustración 21), primeramente como nuestro sólido es simétrico seleccionaremos un plano de simetría, en nuestro caso es el plano YZ.

Seguidamente definiremos el tamaño de nuestro volumen de control (Ilustración 21), lo que debemos tener en cuenta para esto es que el volumen de control que quede por detrás de nuestro sólido ha de tener la suficiente longitud como para asegurar que el flujo se desarrolla completamente, en nuestro caso esta longitud será de 3000mm (3m).

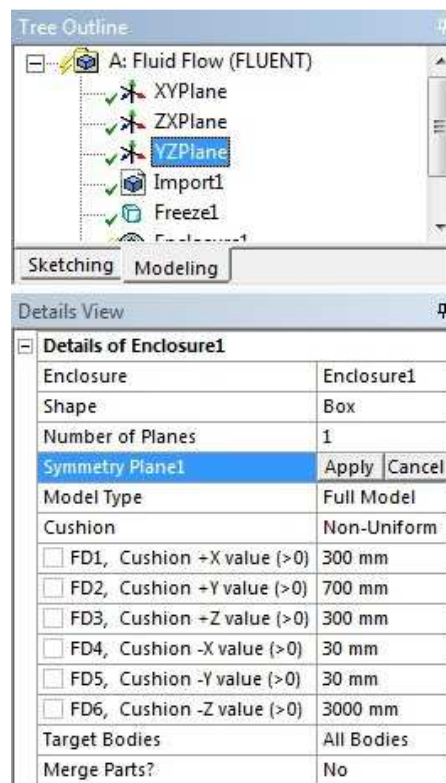


Ilustración 21: Definición del volumen de control

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

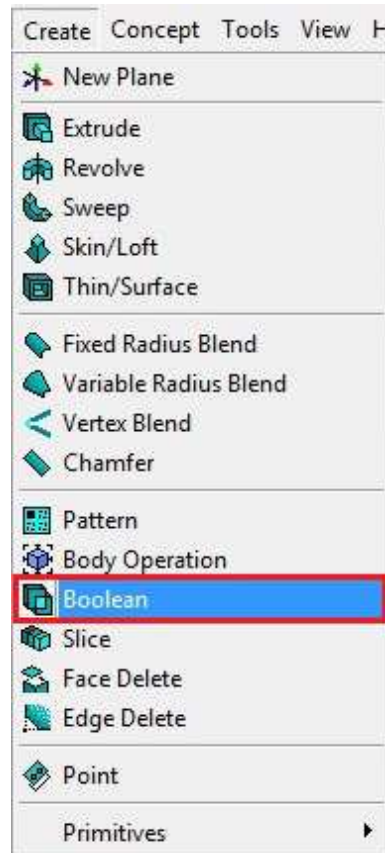


Ilustración 22: Menú Create

Tras esto entraremos en la barra *Create*, y seleccionaremos la opción *Boolean*. Por último dentro de la opción *Boolean* seleccionamos la operación *Subtract*, dentro de esta opción debemos de definir el fluido, en nuestro caso aire, como *Target Bodies*. Y definir el sólido como *Tool Bodies* (Ilustración 23).

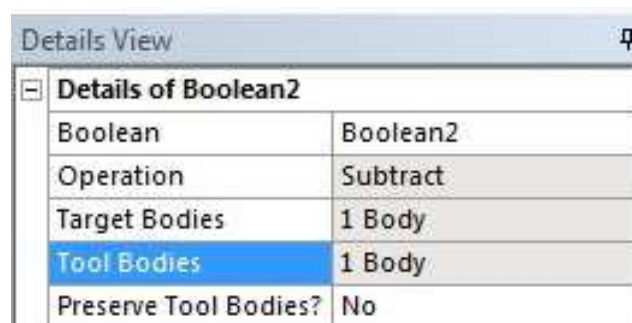


Ilustración 23: Menú Boolean

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Con esto lo que hacemos es hacer un vaciado en nuestro volumen de control que tendrá la forma de nuestro sólido. De esta manera ya hemos finalizado nuestro volumen de control (Ilustración 24) y terminado con este módulo.

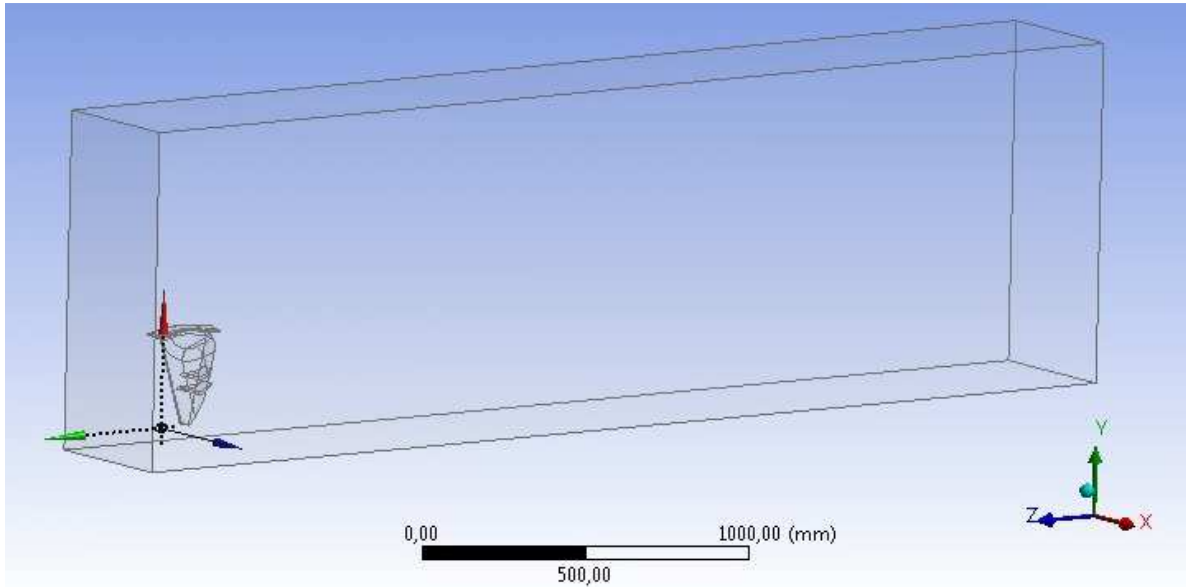


Ilustración 24: Volumen de control

7.2 Malla

Este es el módulo más importante, ya que en él se creará la malla. La malla se utiliza para situar todos aquellos puntos en los que deseamos que se realicen los cálculos, por lo que cuanto mayor sea la calidad de nuestra malla obtendremos datos mucho más cercanos a la realidad.

Comenzaremos editando la malla. Lo primero que veremos será los detalles de la malla. La preferencia física se establece en CFD dado que es un fluido.

Se activa el dimensionado avanzado en modo curvatura, esto producirá que el procesamiento de malla alrededor de superficies curvas sea más preciso. En este caso se le da una prioridad media en la generación de malla, lo cual es relevante, sobre todo combinándolo con una transición lenta (*Slow Transition*). Esto establece que el cálculo de una celda a partir de otra sea más preciso y cuidado, evitando pequeños ángulos entre las caras de los tetraedros, al tener una geometría compleja el mallado será triangular y tetraédrico ya que requiere un menor número de celdas que un mallado cuadrangular y hexaédrico, que darían lugar a una mala calidad de malla (Ilustración 25).

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

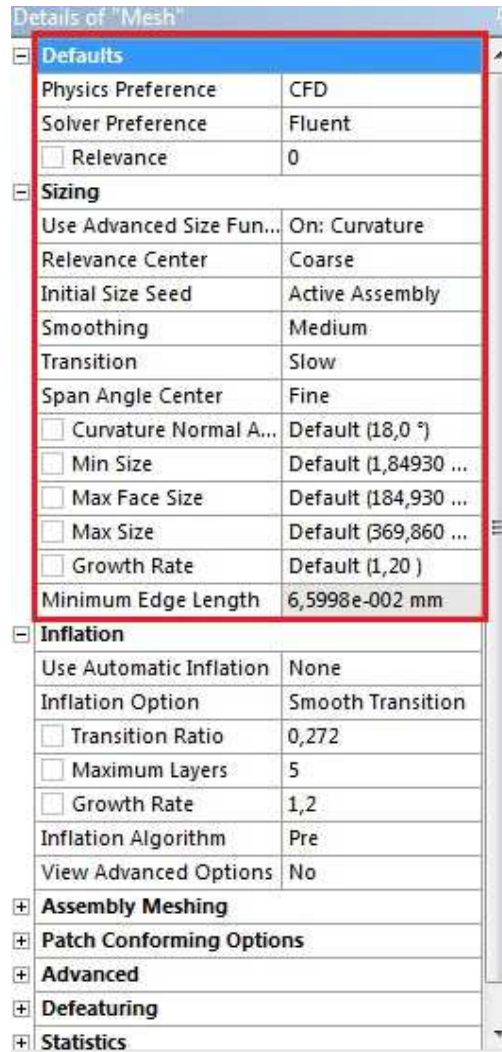


Ilustración 25: Detalles de la malla 1

Para finalizar con los detalles de malla, habilitaremos el uso del método *Inflation*. Este se encarga de que alrededor del cuerpo existan una serie de capas de celdas más pequeñas (Ilustración 26).

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”



Ilustración 26: Detalles de la malla 2

A continuación generamos la malla. Primeramente el programa generará una malla por defecto teniendo en cuenta lo definido en detalles de malla (Ilustración 27).

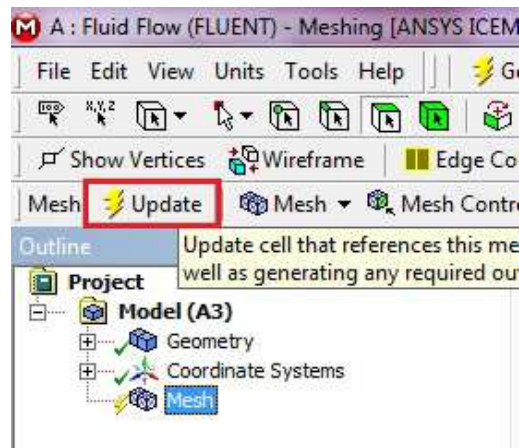


Ilustración 27: Generación de la malla

En las Ilustraciones 28 y 29 podemos ver la malla generada por el programa de manera automática.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

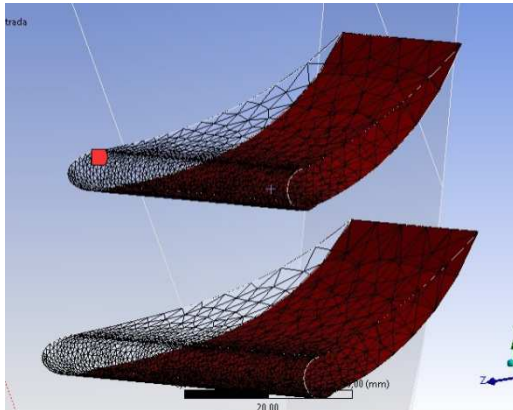


Ilustración 28: Malla generada en los alerones

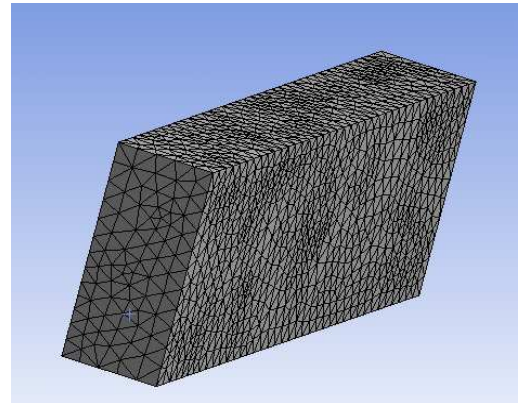


Ilustración 29: Malla generada en todo el volumen

Ahora mediante la opción *Named Selections* nombraremos todas las caras susceptibles de aplicar una condición de contorno. Nombraremos las caras pertenecientes a nuestros alerones, así como las paredes pertenecientes al volumen de control (entrada, salida, pared, suelo, techo, simetría y alerones).

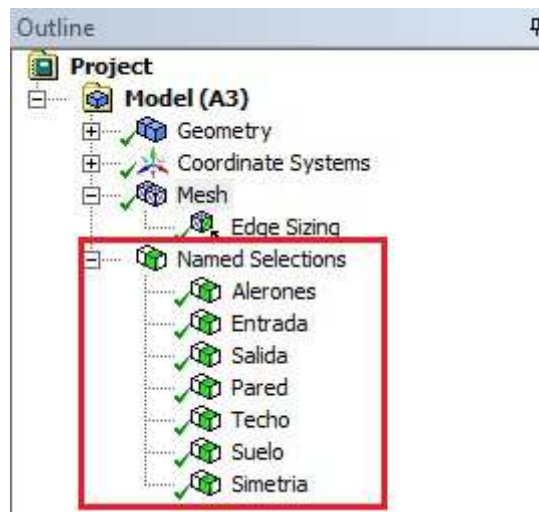


Ilustración 30: Named Selections

Posteriormente mejoraremos la malla de nuestros alerones a través de la opción *Sizing* dentro de la tabla *Mesh Control*. Seleccionamos un número de divisiones lo suficientemente grande como para refinar nuestra malla y un comportamiento fuerte para que el programa sea lo suficientemente preciso con lo que deseamos mallar (Ilustración 31).

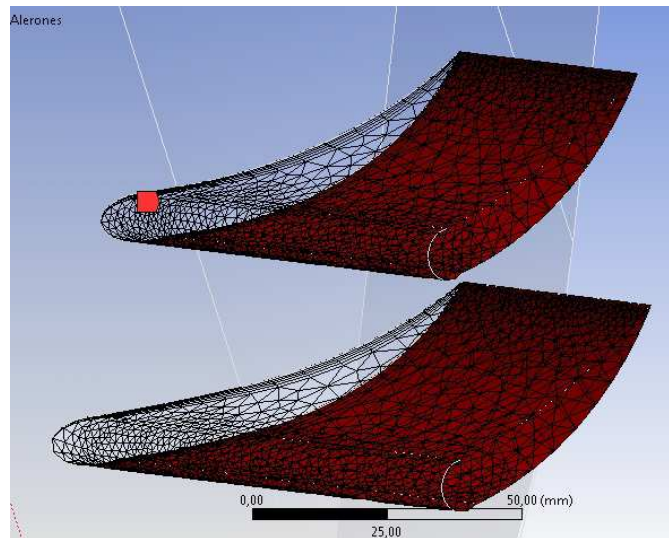


Ilustración 31: Malla final generada en los alerones

De esta manera finalizamos con el módulo malla.

7.3 Fluent

Como hemos visto anteriormente en este módulo fijaremos las condiciones de contorno del modelo a calcular, para posteriormente realizar los cálculos.

Al abrir *Fluent* desde *Ansys*, lo primero que aparece es una ventana (Ilustración 32), en ella tenemos diferentes opciones, nosotros seleccionaremos la opción *Double Precision* con la cual nos aseguramos que los cálculos sean más precisos. También podemos elegir si los cálculos se realizarán en serie o en paralelo, es decir, en serie el procesador del ordenador realizará los cálculos de manera normal utilizando los recursos disponibles del ordenador, y en paralelo podremos dedicar todos los recursos disponibles en el ordenador para realizar los cálculos. Sobra decir que la opción de paralelo recorta mucho más el tiempo de cálculo, pero debido a falta de recursos electrónicos nosotros seleccionaremos la opción en serie.



Ilustración 32: Ventana de inicio a Fluent

Una vez dentro de Fluent podemos observar a nuestra derecha la malla realizada en el módulo anterior y a nuestra izquierda una barra de herramientas con la que trabajaremos para crear el modelo del proyecto (Ilustración 33). Esta barra de herramientas está subdividida, en el primer bloque planteamos el problema, *Problem Setup*, en el segundo bloque elegiremos de que manera y a partir de que valores comenzaremos a resolver nuestro problema además de especificar aquello que deseamos calcular, *Solution*, y por último en el tercer bloque consultaremos los gráficos y resultados de nuestro problema, *Results*.

a. Planteamiento del problema (*Problem Setup*).

- *General*: En nuestro caso el problema es de tipo estacionario, por lo que marcamos la opción *Steady*, además debido a que nuestro flujo es incompresible ($Ma < 0,3$) basaremos la solución resolviendo una ecuación de presión corregida que se obtiene manipulando las ecuaciones de continuidad y de conservación de momentos, por eso marcamos la opción, *Pressure-Based*. También marcaremos la opción *Absolute*, ya que nuestras coordenadas de velocidad serán absolutas.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

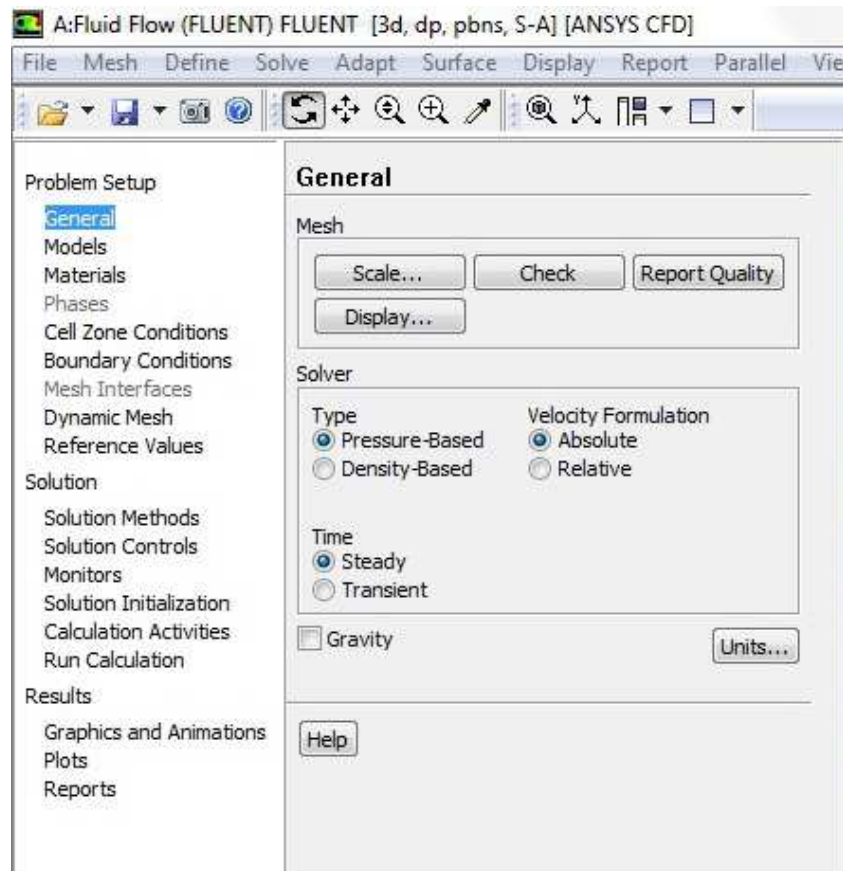


Ilustración 33: General

- **Model:** Para realizar nuestro estudio aerodinámico debemos de seleccionar un modelo viscoso. Como podemos ver en la Ilustración 34 existen varios modelos, de todos estos modelos nosotros seleccionaremos el modelo *Spalart-Allmaras*, ya que nuestro caso es un caso sencillo ($Ma < 0,3$) y además este modelo es uno de los más utilizado para el caso de estudios aerodinámicos.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

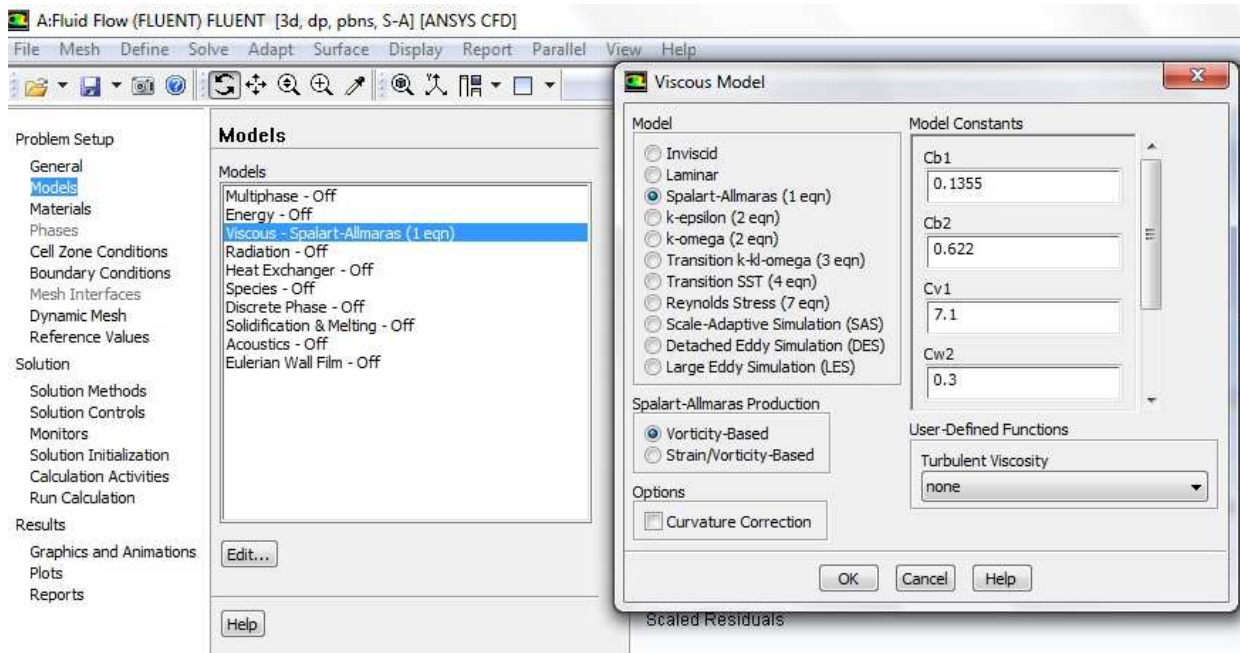


Ilustración 34: Models

- **Materials:** En este apartado seleccionaremos el aire como fluido, asignándole las propiedades, viscosidad y densidad, obtenidas en el capítulo 3 y que se muestran a continuación. Aunque estas propiedades no varían significativamente con las que nos proporciona *AnsysFluent* por defecto por lo que no será un cambio muy relevante para nuestros cálculos, aún así lo modificaremos para ajustarnos lo máximo posible a nuestras condiciones de contorno.

$$\rho = 1,23 \frac{kg}{m^3}; \mu = 1,78 \cdot 10^{-5} N \cdot s/m^2$$

- **Boundary Conditions:** Ya que hemos configurado la malla desde ICEM CFD, todo estará pre cargado, sin embargo hemos de justificarlo.

Como hemos visto en la malla, hemos definido una serie de superficies asignándoles un nombre, por defecto todas nuestras superficies serán de tipo *Wall*, esto significa que estas superficies serán un cuerpo sólido un obstáculo para el fluido.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

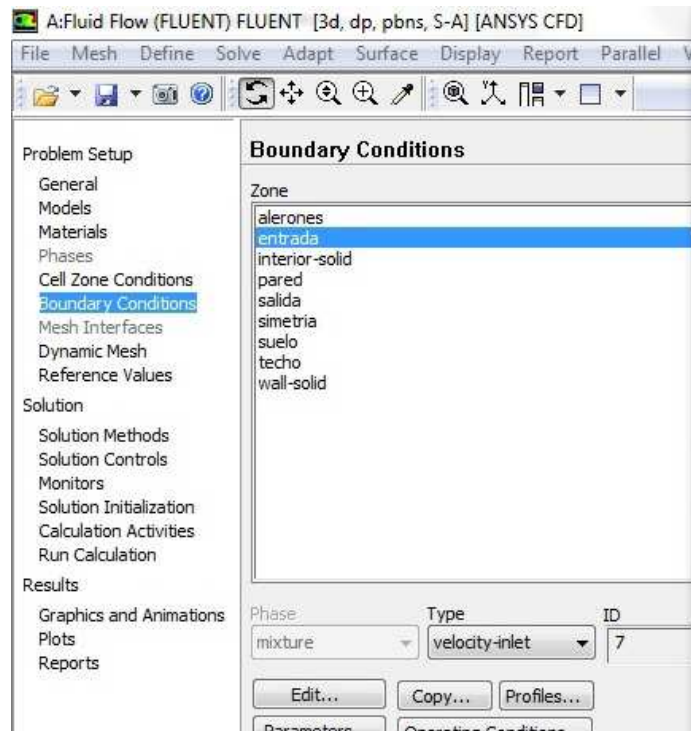


Ilustración 35: Boundary Conditions

Debemos cambiar la entrada y la salida, ya que es el lugar por el cual pasara nuestra corriente fluida (simularemos un túnel de viento). En el caso de la entrada seleccionaremos la opción, *velocity-inlet* que nos permitirá seleccionar la velocidad del fluido a la entrada de nuestro túnel. Requiere que introduzcamos la velocidad, la dirección de esta y especificar la turbulencia del campo fluido.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

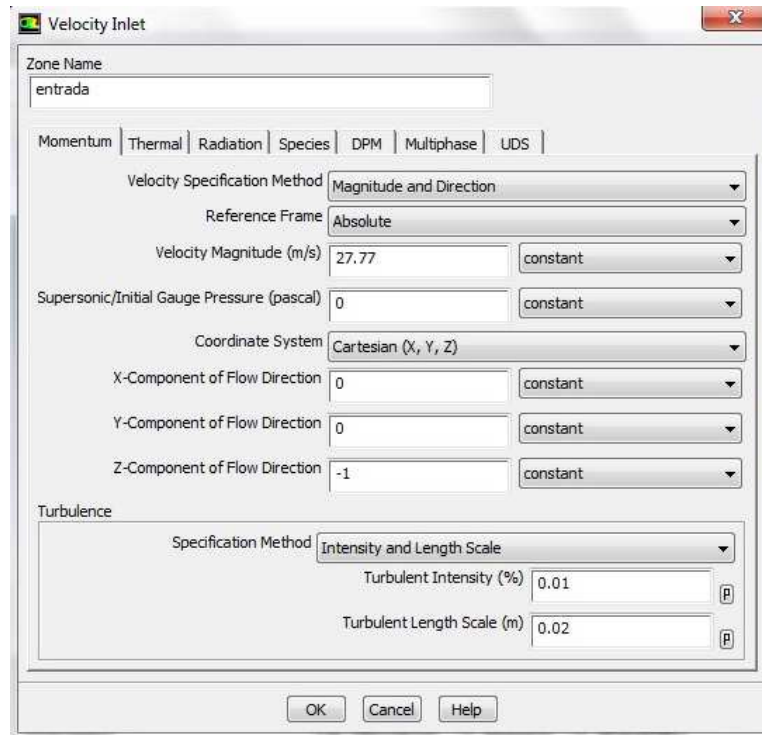


Ilustración 36: Velocity-Inlet

Como podemos ver en la Ilustración 36, definimos los parámetros de nuestra corriente fluida. La magnitud del vector velocidad será de 27,77 m/s ,100 Km/h como hemos visto en el capítulo 4, en la dirección z negativo. Por otra parte seleccionamos la turbulencia del aire a la entrada basándonos en publicaciones de *Ansys* y en modelos de turbulencia ya existentes.

Para la salida seleccionaremos la opción *outflow*. Esta opción es utilizada en casos, como es el nuestro, en el que se desconocen las características del flujo de salida, también hemos de tener en cuenta que la salida del fluido debe estar en un lugar donde el flujo se encuentre completamente desarrollado. En nuestro caso podemos asegurar que nuestro flujo estará completamente desarrollado en la salida debido a que nuestro volumen de control es lo suficientemente largo como para que se desarrolle el flujo. En otros casos en los que no exista suficiente espacio para que el flujo se desarrolle completamente seleccionaríamos la opción *pressure-outlet* para asegurarnos de que se desarrolla completamente.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”



Ilustración 37: Outflow

- *Reference Values*: Ahora debemos de marcar unos valores de referencia que *AnsystFluent* utilizará para realizar los cálculos. Estos valores los importaremos desde la entrada. Solo debemos actualizar dos valores de manera manual, el área y la longitud característica. A través del propio programa podemos obtener estos valores, mediante la opción *Reports* y posteriormente *Projected Areas*, seleccionaremos la proyección sobre el plano XY y obtendremos los datos deseados.

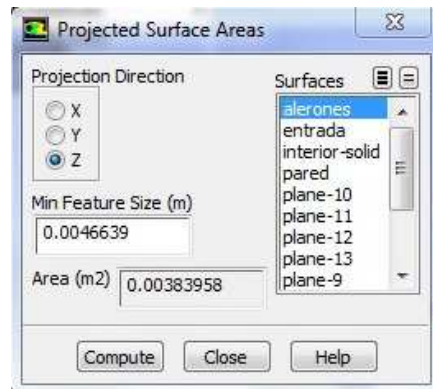


Ilustración 38: Projected Areas

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

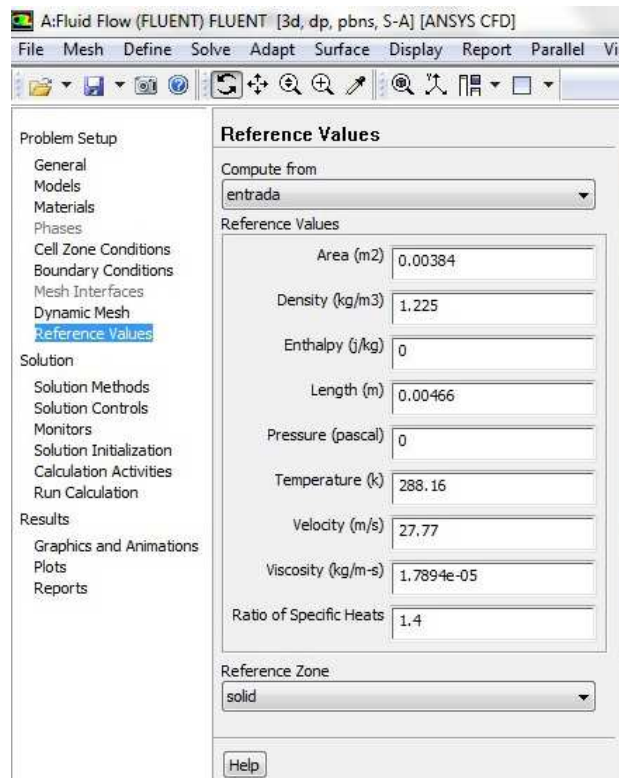


Ilustración 39: Reference Values

b. Solución (*Solution*).

- ***Solution Methods*:** Las opciones de resolución que muestra *AnsysFluent* por defecto son perfectamente validas para la resolución de nuestro problema. Sin embargo cambiaremos la discretización del momento y la viscosidad turbulenta, a un método de resolución de segundo orden, *Second Order Upwin*, para obtener unos resultados mucho más precisos de arrastre (drag) y sustentación (lift).

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

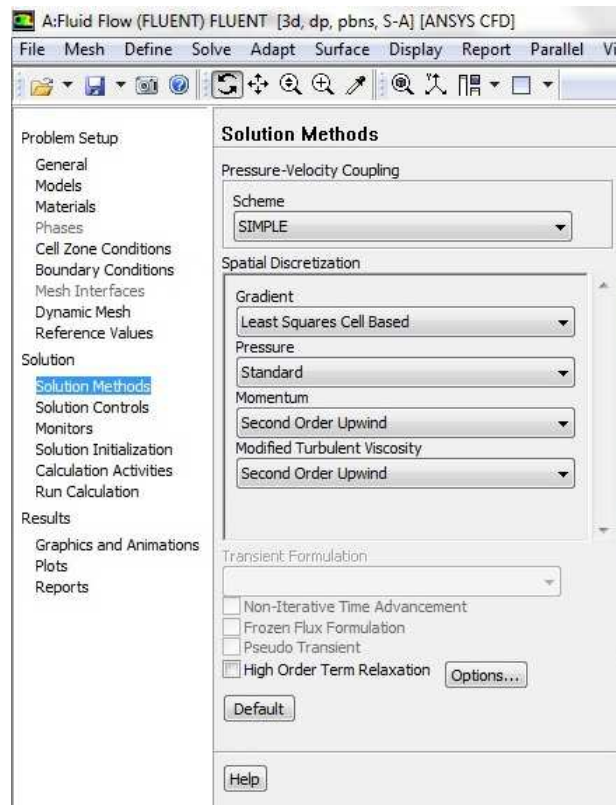


Ilustración 40: Solutions

- **Monitors:** Debido a que en *AnsysFluent* la solución se alcanza mediante un proceso iterativo, configuraremos los monitores para controlar la convergencia. Así que activaremos la monitorización de los residuos, arrastre (drag) y sustentación (lift).
- **Solution Control:** Como vimos en el apartado *General* seleccionamos un método de resolución basado en la presión, *pressured-based*, es un método iterativo de relajación para resolver las ecuaciones. Lo que quiere decir esto es que todas las ecuaciones gobernantes tendrán asociadas factores de relajación. Los valores de estos factores que nos proporciona *AnsysFluent* suelen ser perfectamente válidos para la mayoría de los casos. Estos factores han de ser ajustados (reducidos) manualmente en caso de que no llegue a convergir la solución.

En nuestro caso tras varios cálculos y la experiencia de horas de trabajo con *AnsysFluent*, se tomó la decisión de reducir estos

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

parámetros para que la solución pudiese convergir. De este modo tenemos que:

- Factor de momento: 0,2
- Factor de viscosidad turbulenta modificada: 0,5
- Factor de viscosidad turbulenta: 0,5

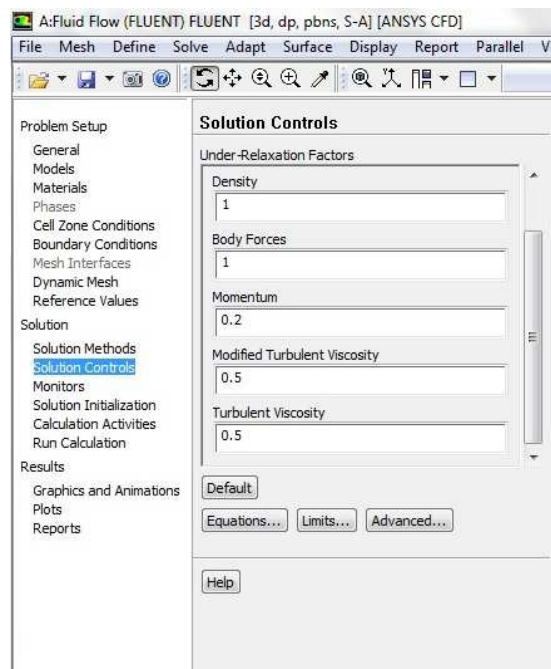


Ilustración 41: Solution Control

- **Solution Initialization:** Ahora debemos seleccionar de que manera ha de inicializar *AnsysFluent* la resolución del problema. Podemos seleccionar la opción *Standard Initialization*, de esta manera comenzará a realizar los cálculos tomando como valores iniciales de la entrada y las propiedades del aire. Y por otro lado podemos seleccionar la opción *Hybrid Initialization*, a partir de la cual antes de hacer los cálculos realiza unos pre-cálculos basándose en los datos introducidos en la entrada y propiedades del aire, de esta manera la resolución del problema será más rápida. En nuestro caso elegiremos la segunda opción.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

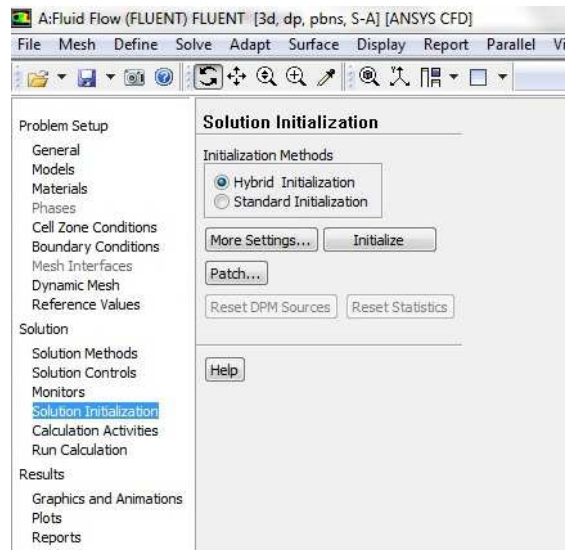


Ilustración 42: Solution Initialization

- *Run Calculation:* Seleccionamos el número de iteraciones y comenzamos la resolución. La manera de seleccionar el número de iteraciones es ir probando diferentes números, comenzando por 200 iteraciones, subimos a 500 y así sucesivamente hasta que el resultado llegue a convergir, pero en nuestro caso debido a la experiencia adquirida y la búsqueda de una estandarización en el proceso de cálculo, seleccionaremos directamente 6000 iteraciones como máximo para nuestra resolución.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

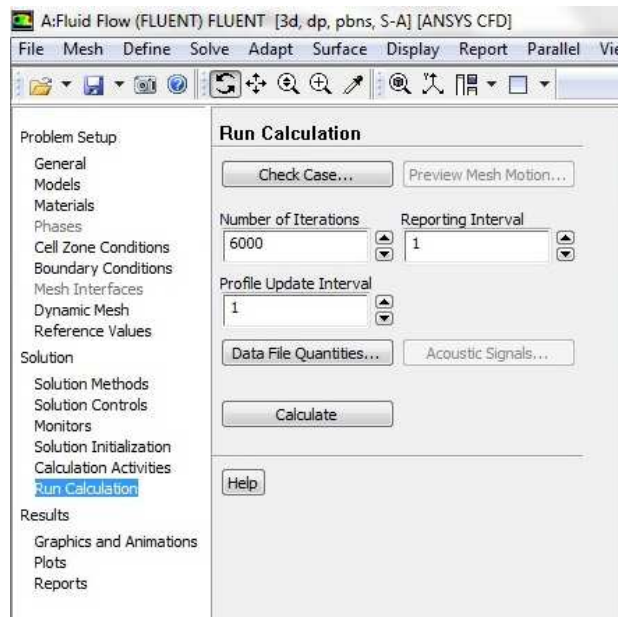


Ilustración 43: Run Calculation

c. Resultados (Results).

En este apartado podremos consultar los resultados obtenidos de resolver nuestro problema. Podemos obtener tanto gráficas como datos numéricos concretos, que nos ayudaran a decidir que diseño hemos de seleccionar y cuales debemos descartar.



8. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PERFILES ORIGINALES

A continuación expondremos los resultados obtenidos del cálculo de las características aerodinámicas de los perfiles diseñados, para asegurarnos de que los cálculos realizados sean fiables, hemos de observar que los residuos de la ecuación de la continuidad, son la diferencia entre la iteración previa y el principio de la actual, convergen por debajo o igual de un valor de 10^{-3} .

Cabe destacar que los cálculos han sido realizados sin tener en cuenta la inclinación de la moto, es decir con los alerones en posición horizontal, ya que para el correcto funcionamiento de los alerones han de permanecer en posición horizontal en el paso por curva.

Una vez vistos los distintos cálculos, seleccionaremos los dos mejores perfiles para ser optimizados mediante el uso de dispositivos hipersustentadores, los cuales serán explicados y analizado en los capítulos siguientes.

8.1 Perfil Asimétrico 1

Los resultados de este perfil llegaron a convergir a las 1369 iteraciones, los residuos llegan a convergir en un valor por debajo o igual de 10^{-3} , lo cual para esta ecuación es aceptable. De esta manera podemos asegurar la fiabilidad de las soluciones cuando hablamos del proceso de cálculo.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

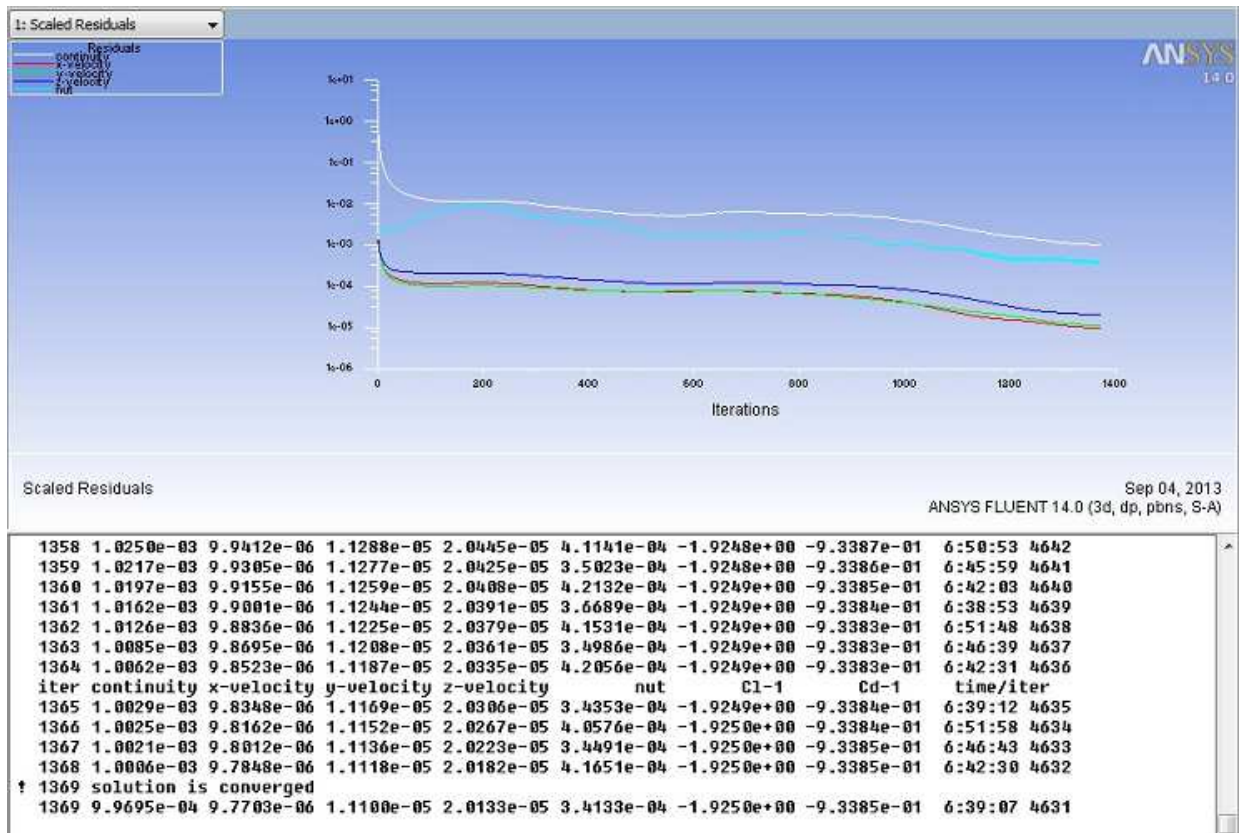


Ilustración 44: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 1

Una vez que aseguramos que nuestros cálculos son fiables, exponemos los resultados obtenidos.

El coeficiente de resistencia (drag) obtenido es de 0,933, y el coeficiente de sustentación (lift) obtenido es de 1,925. Esto lo podemos ver en las Ilustraciones 45 y 46 respectivamente.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

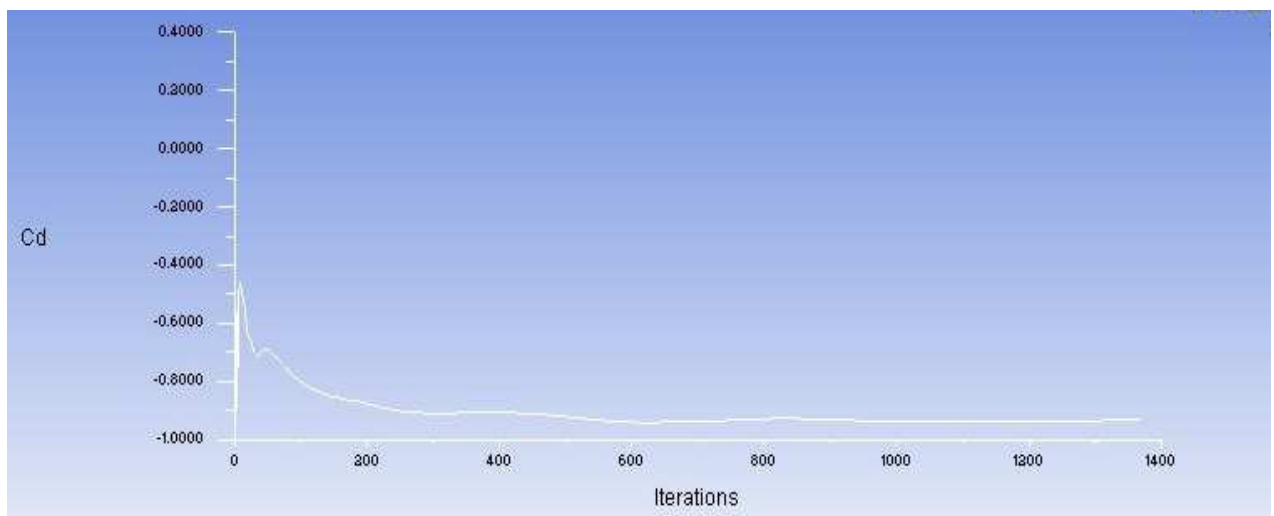


Ilustración 45: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 1

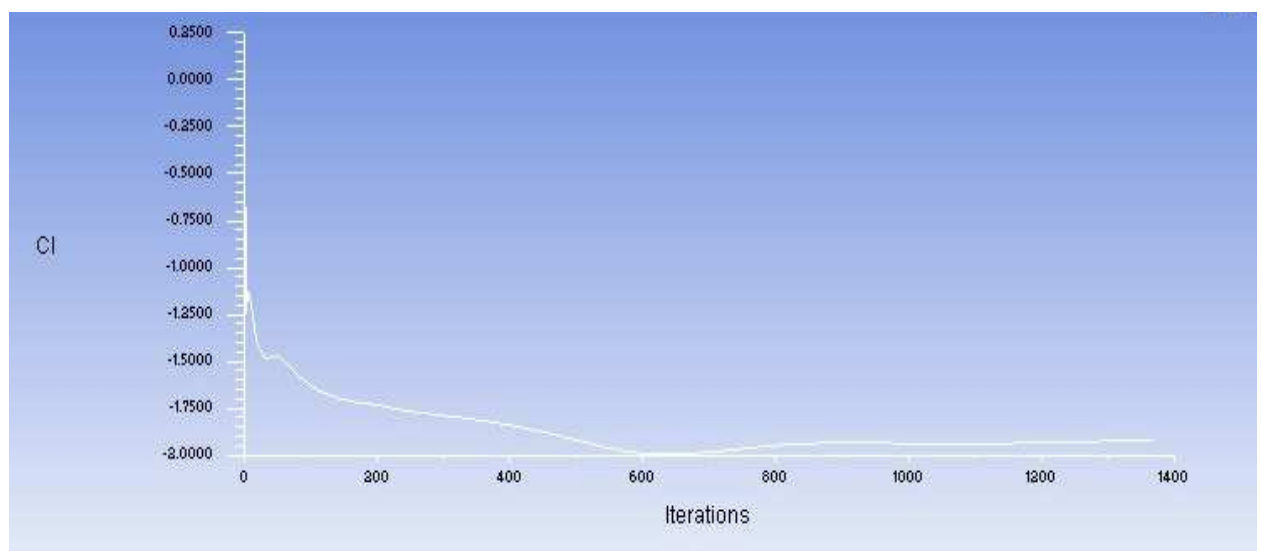


Ilustración 46: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 1

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

A continuación vemos los contornos de presiones sobre nuestros alerones, en las Ilustraciones 47 y 48.

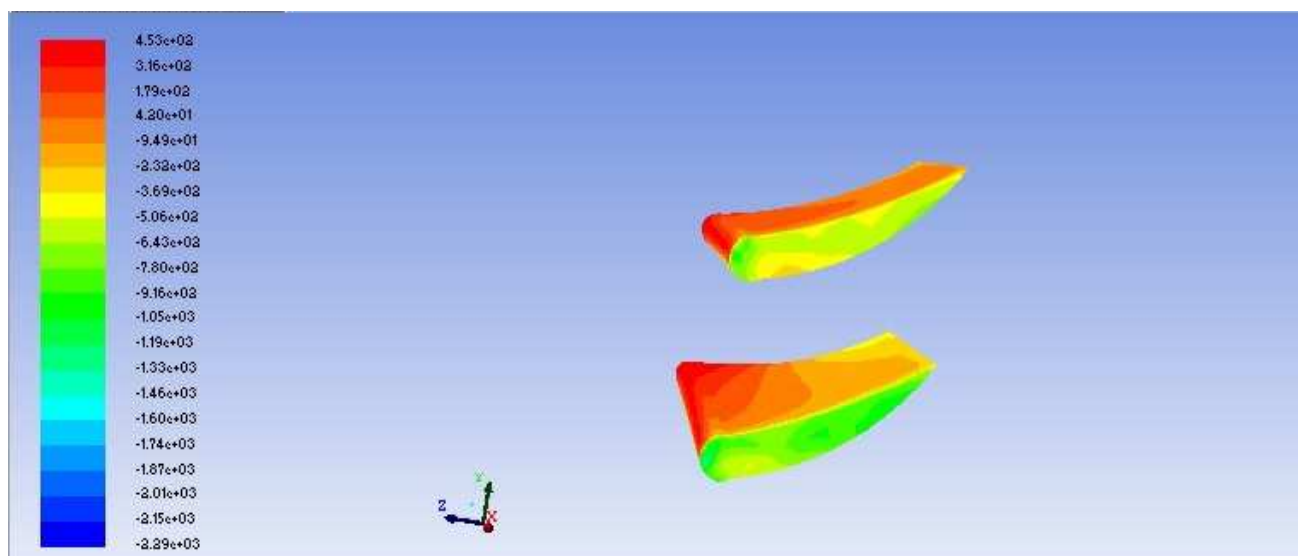


Ilustración 47: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 1



Ilustración 48: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Como podemos observar en ambas ilustraciones, los alerones realizan su función perfectamente, ya que existe una mayor presión en el intradós y una menor presión en el extradós, de esta manera creamos la sustentación, debido a que esta diferencia de presiones genera una fuerza que empujará los alerones hacia en suelo, y de este modo la moto generando un mayor agarre.

Ahora podemos observar el contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones, en la Ilustración 49.

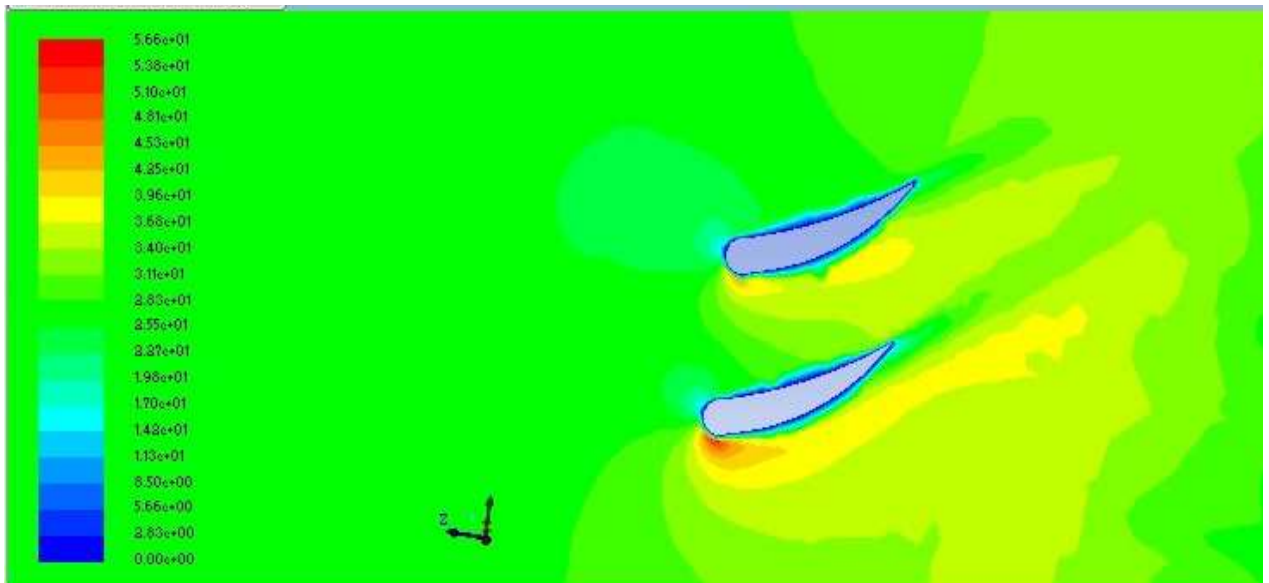


Ilustración 49: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1

Como podemos observar la velocidad en el extradós es mayor, lo cual explica una menor presión en esa zona, y la velocidad en el intradós es menor. De esta manera es como se genera la sustentación.

Posteriormente observamos las fuerzas que generan nuestros alerones. En este caso tenemos una fuerza de sustentación de 5,36 N y una fuerza de arrastre de 2,6 N.

Forces - Direction Vector (0 0 1)				
Zone	Forces (n)	Viscous	Total	Coefficients
alerones	Pressure			Pressure
	-2.5435253	-0.058962512	-2.6024878	-0.91269604
Net	-2.5435253	-0.058962512	-2.6024878	-0.91269604

Ilustración 50: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 1

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Forces - Direction Vector (0 1 0)				
Zone	Forces (n)			Coefficients
alerones	Pressure	Viscous	Total	Pressure
	-5.3870065	0.022304652	-5.3647018	-1.9330256
Net	-5.3870065	0.022304652	-5.3647018	-1.9330256

Ilustración 51: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 1

Estos serán los últimos resultados de interés de nuestro modelo.

8.2 Perfil Asimétrico 2

Los resultados de este perfil llegaron a convergir a las 885 iteraciones, los residuos llegan a convergir en un valor por debajo o igual de 10^{-3} , lo cual para esta ecuación es aceptable. De esta manera podemos asegurar la fiabilidad de las soluciones cuando hablamos del proceso de cálculo.

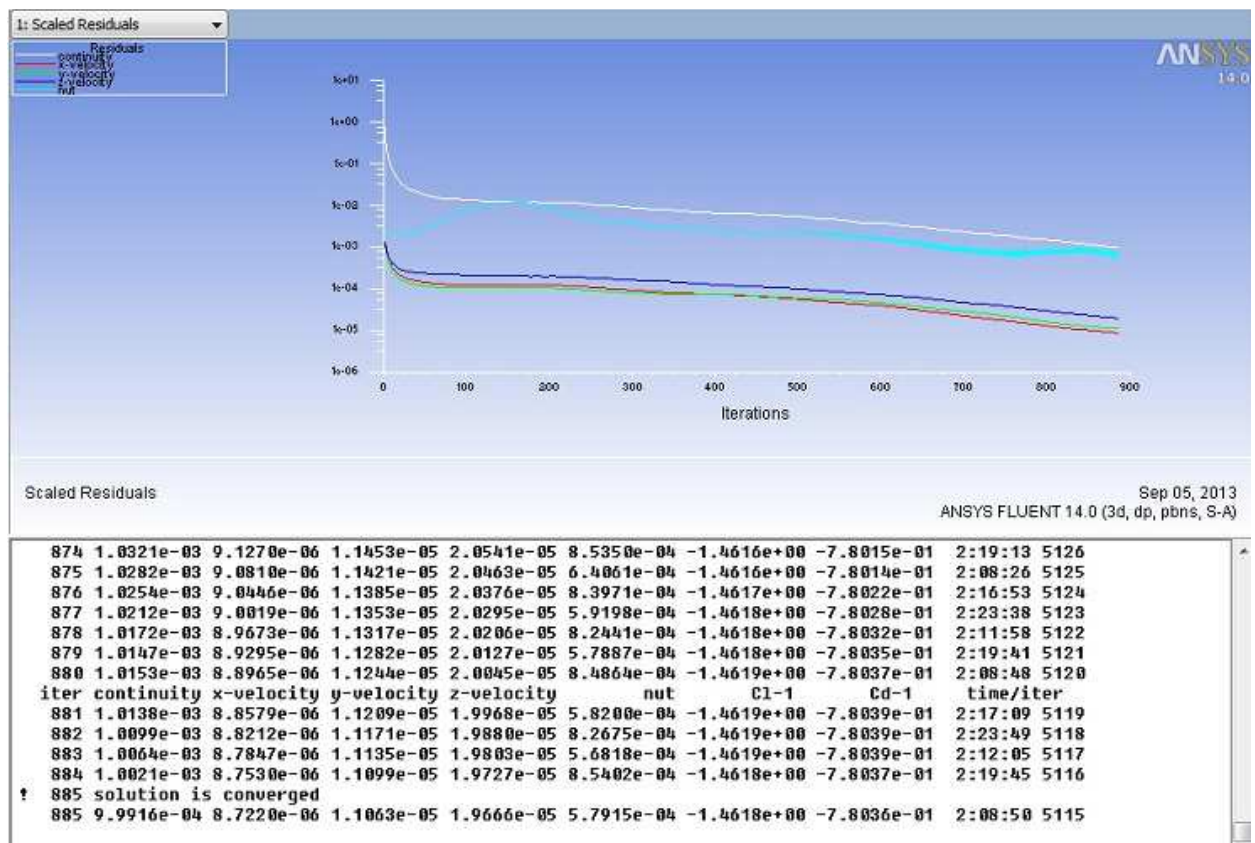


Ilustración 52: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 2

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Al igual que en caso anterior, una vez que aseguramos que nuestros cálculos son fiables, exponemos los resultados obtenidos.

El coeficiente de resistencia (drag) obtenido es de 0,78, y el coeficiente de sustentación (lift) obtenido es de 1,461. Como podemos observar en las Ilustraciones 53 y 54 respectivamente.

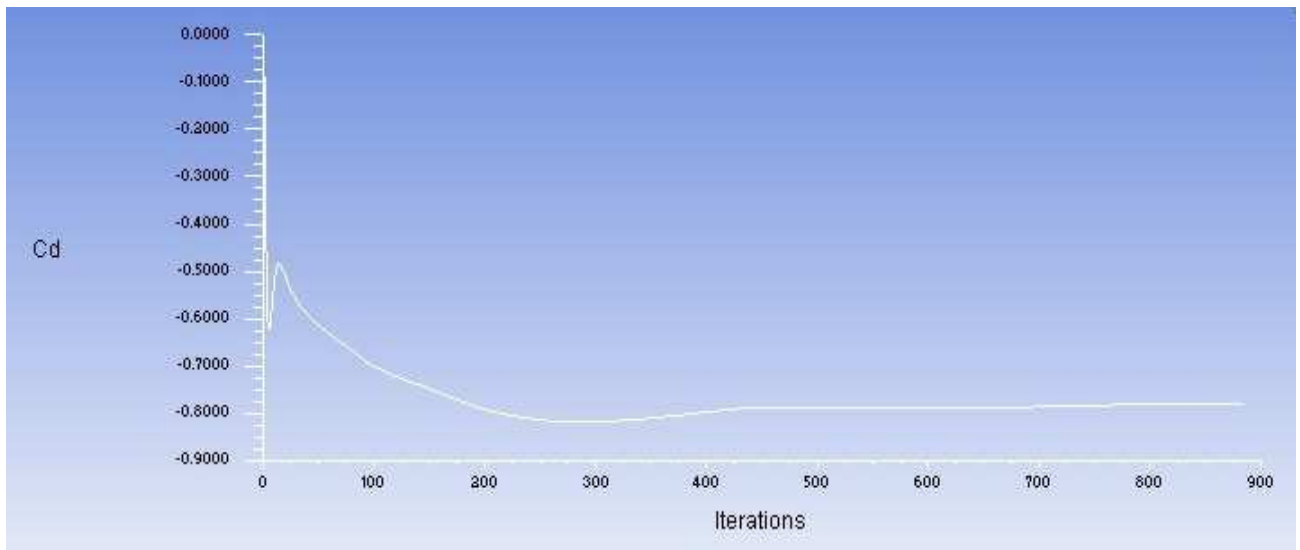


Ilustración 53: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 2

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

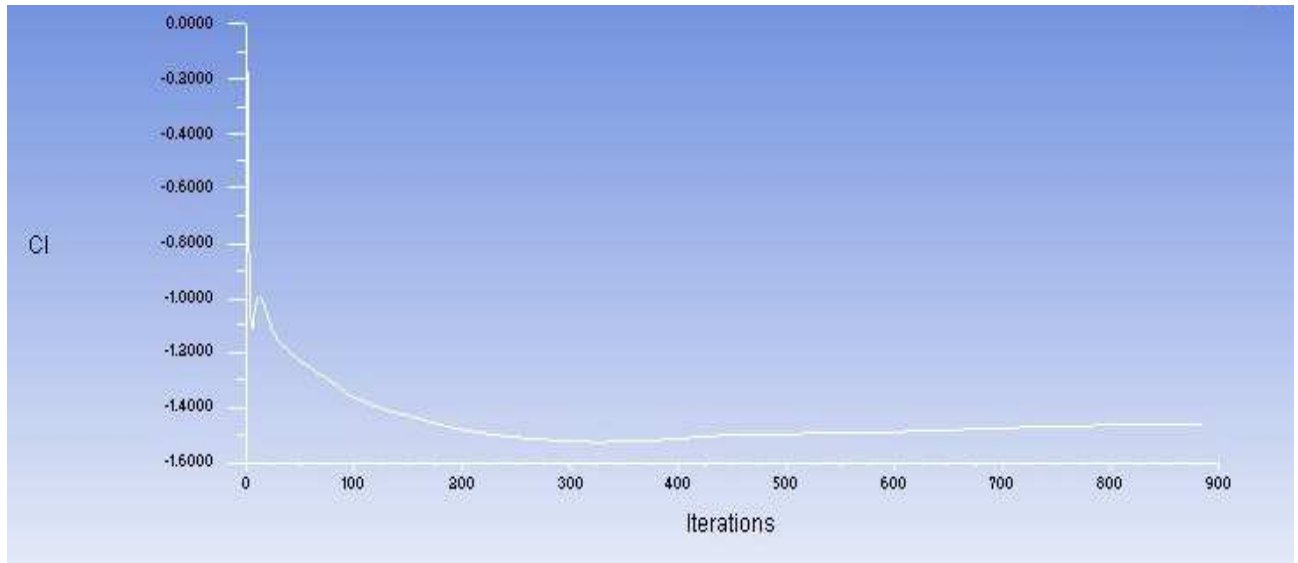


Ilustración 54: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 2

Siguiendo con el proceso anterior, a continuación vemos los contornos de presiones sobre nuestros alerones, en las Ilustraciones 55 y 56.

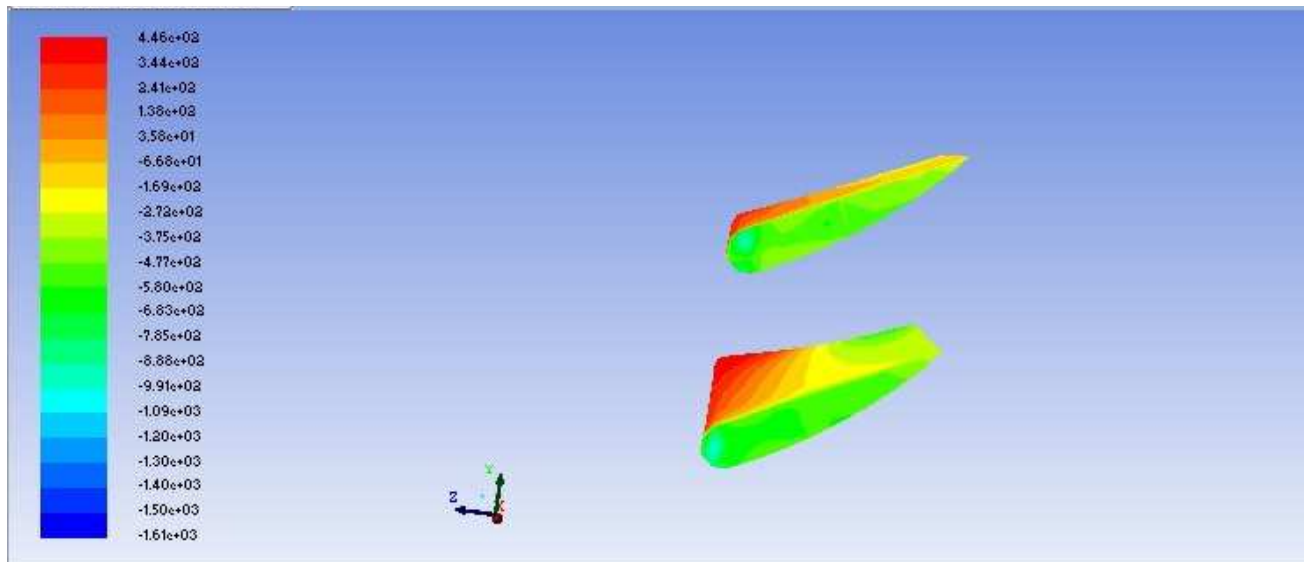


Ilustración 55: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 2

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

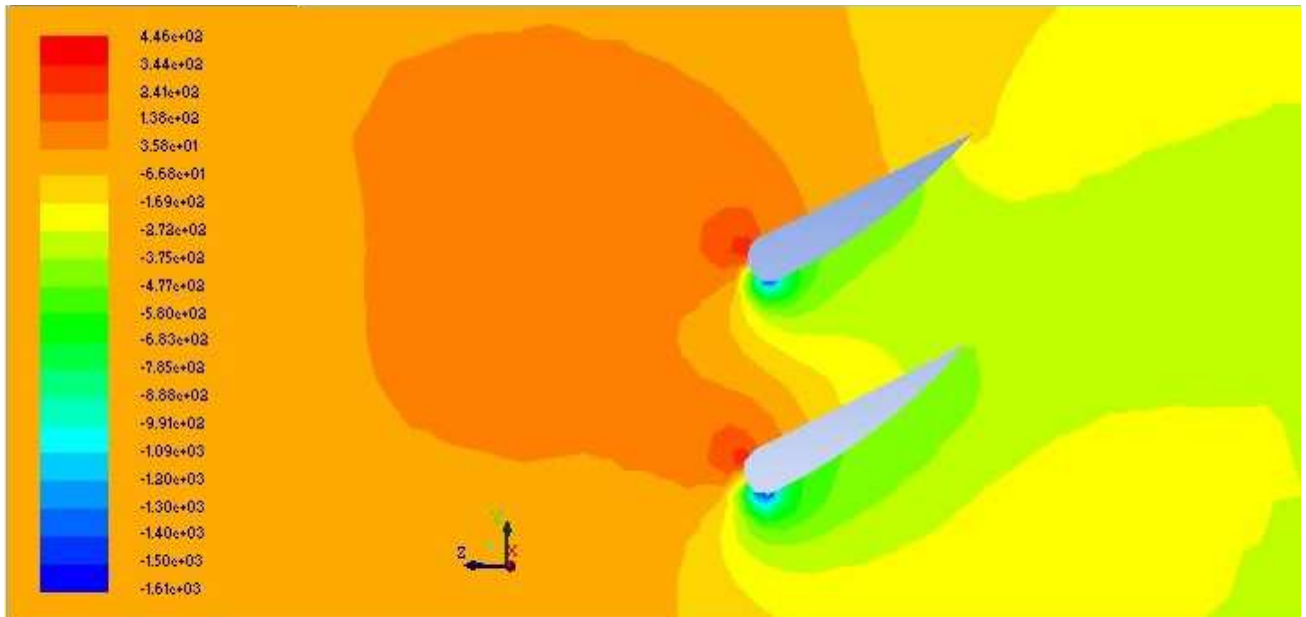


Ilustración 56: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2

Como podemos observar en ambas ilustraciones, los alerones realizan su función perfectamente, ya que existe una mayor presión en el intradós y una menor presión en el extradós, de esta manera creamos la sustentación, al igual que hemos visto en el diseño anterior.

Ahora podemos observar el contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones, en la Ilustración 57.

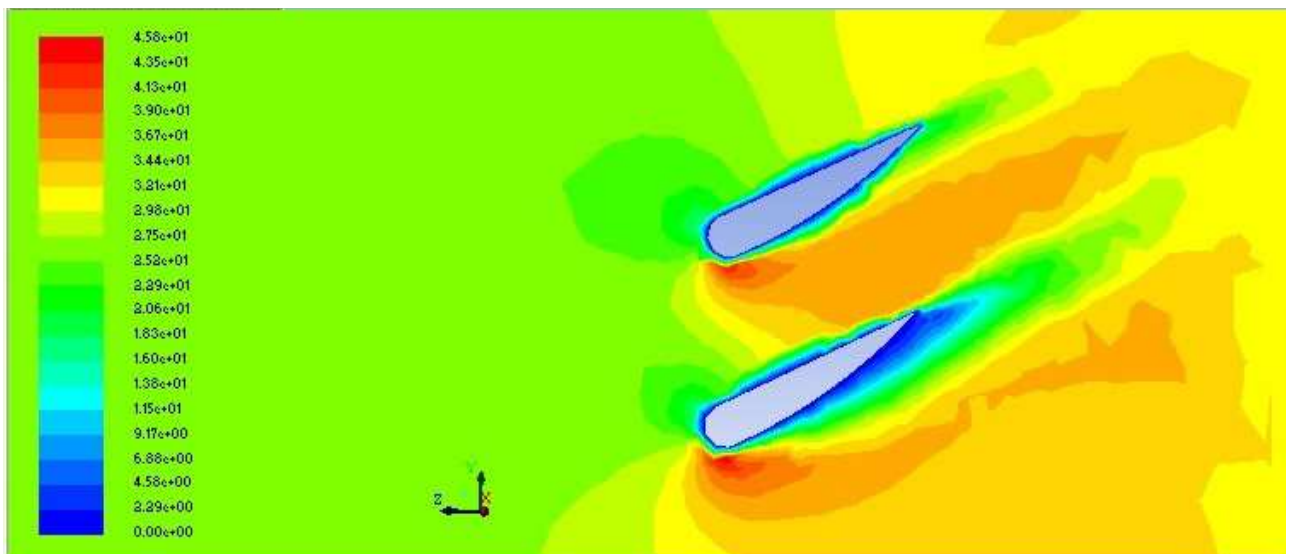


Ilustración 57: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Como podemos observar la existe una diferencia de velocidad entre el intradós y el extradós, sin embargo podemos ver cómo llega a producirse un desprendimiento de la capa límite por lo que nuestro perfil será muy poco efectivo.

Tras observar los contornos de velocidades y presiones, observamos las fuerzas que generan nuestros alerones. En este caso tenemos una fuerza de sustentación de 4,211 N y una fuerza de arrastre de 2,25 N.

Forces - Direction Vector (0 0 1)				
Zone	Forces (n) Pressure	Viscous	Total	Coefficients Pressure
alerones	-2.2017051	-0.046732513	-2.2484376	-0.7641374
Net	-2.2017051	-0.046732513	-2.2484376	-0.7641374

Ilustración 58: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 2

Forces - Direction Vector (0 1 0)				
Zone	Forces (n) Pressure	Viscous	Total	Coefficients Pressure
alerones	-4.2296694	0.017814031	-4.2118554	-1.4679753
Net	-4.2296694	0.017814031	-4.2118554	-1.4679753

Ilustración 59: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 2

8.3 Perfil Simétrico

Los resultados de este perfil llegaron a convergir a las 906 iteraciones, los residuos llegan a convergir en un valor por debajo o igual de 10^{-3} , lo cual para esta ecuación es aceptable. De esta manera podemos asegurar la fiabilidad de las soluciones cuando hablamos del proceso de cálculo.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

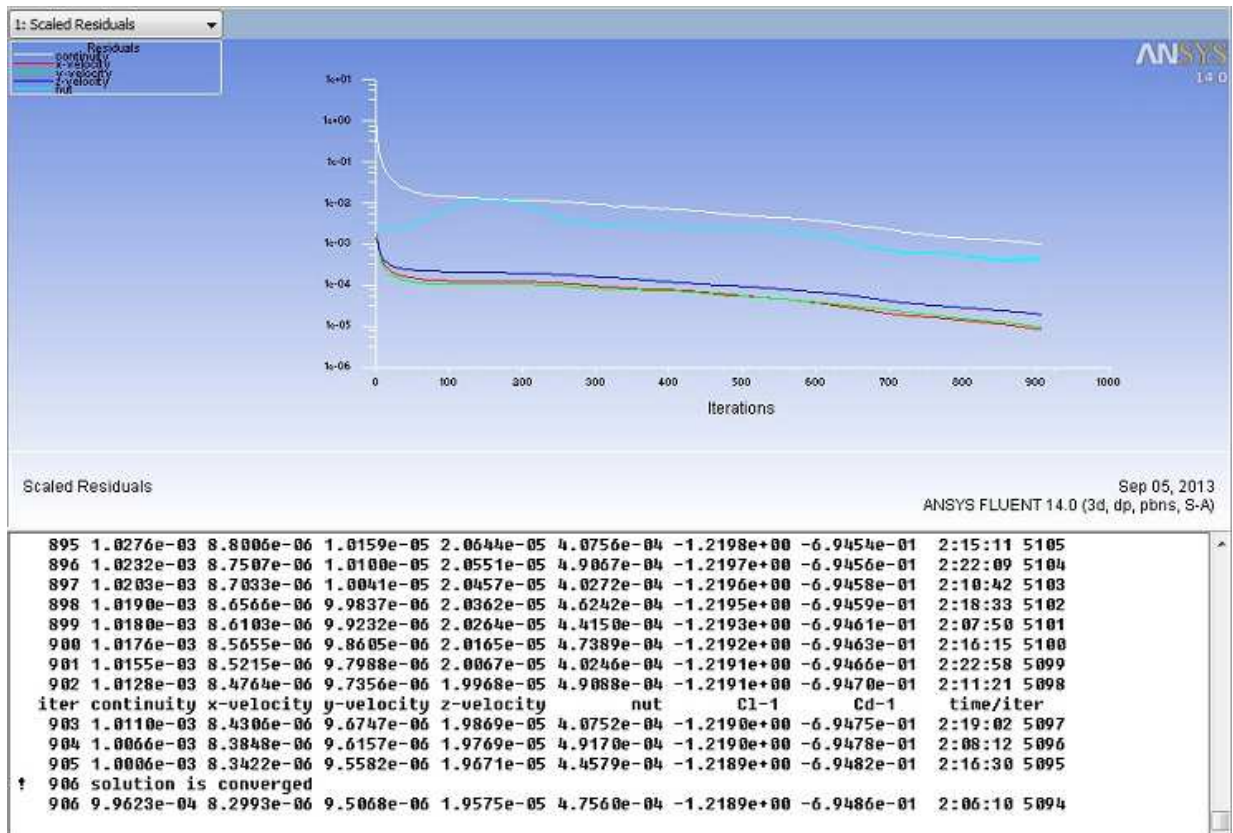


Ilustración 60: Residuos del cálculo iterativo perfil simétrico

Tras asegurarnos que nuestros cálculos son fiables, exponemos los resultados obtenidos.

El coeficiente de resistencia (drag) obtenido es de 0,695, y el coeficiente de sustentación (lift) obtenido es de 1,219. Como podemos observar en las Ilustraciones 61 y 62 respectivamente.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

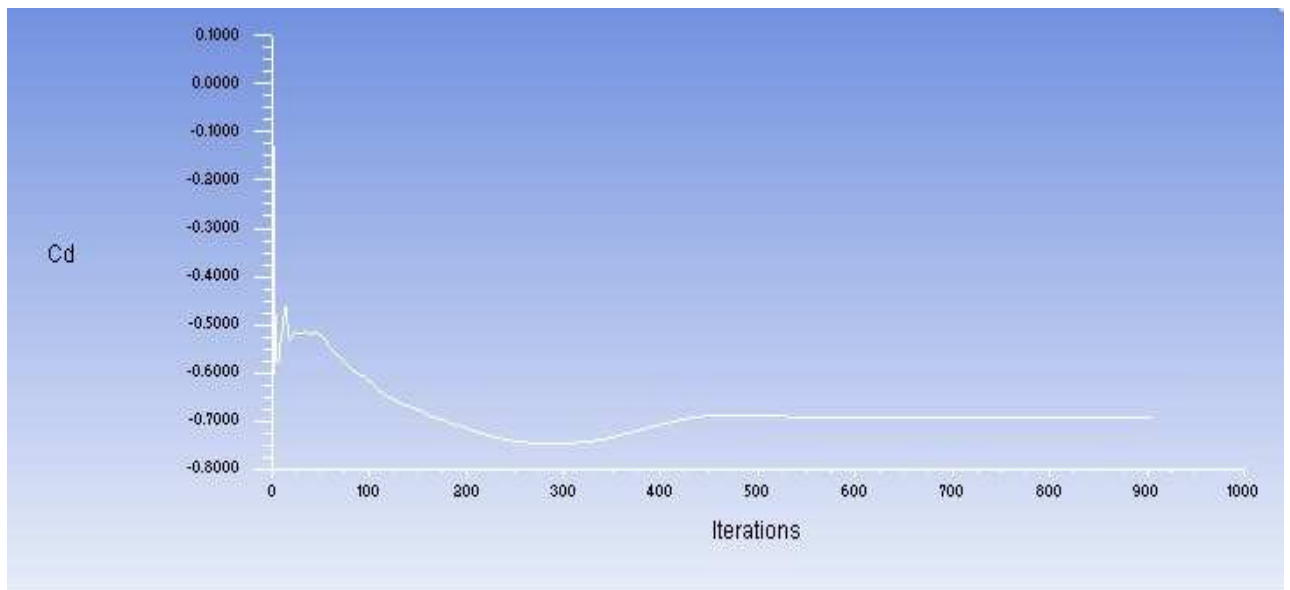


Ilustración 61: Coeficiente de Resistencia del perfil simétrico

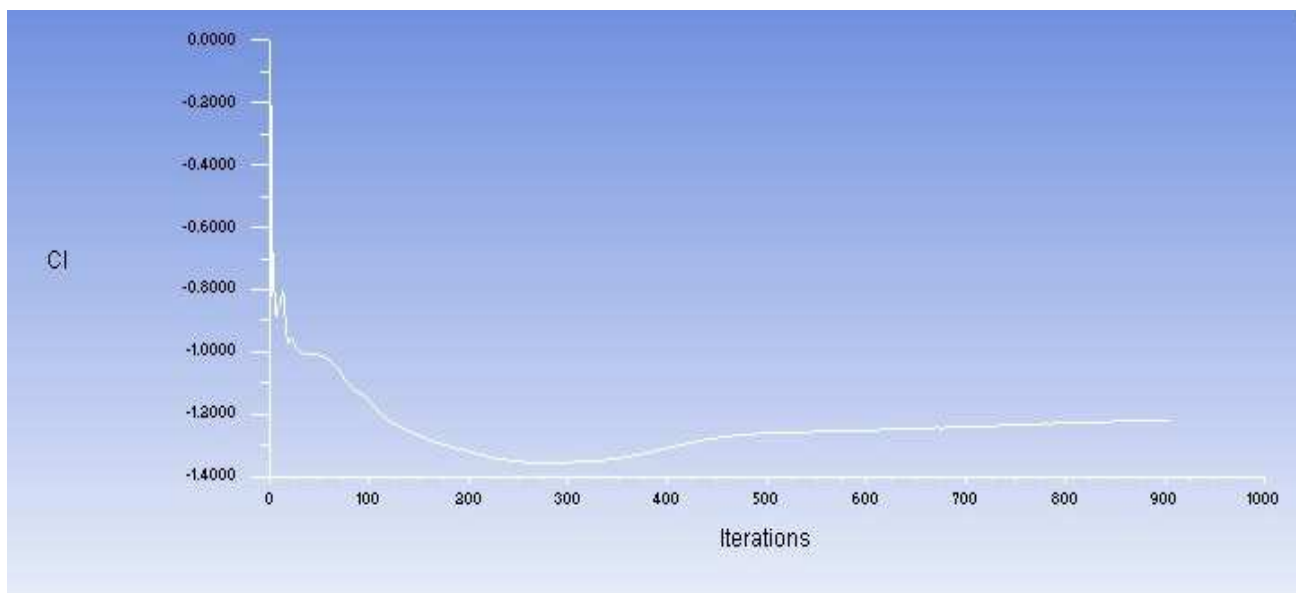


Ilustración 62: Coeficiente de Sustentación del perfil simétrico

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

A continuación vemos los contornos de presiones sobre nuestros alerones, en las Ilustraciones 63 y 64.

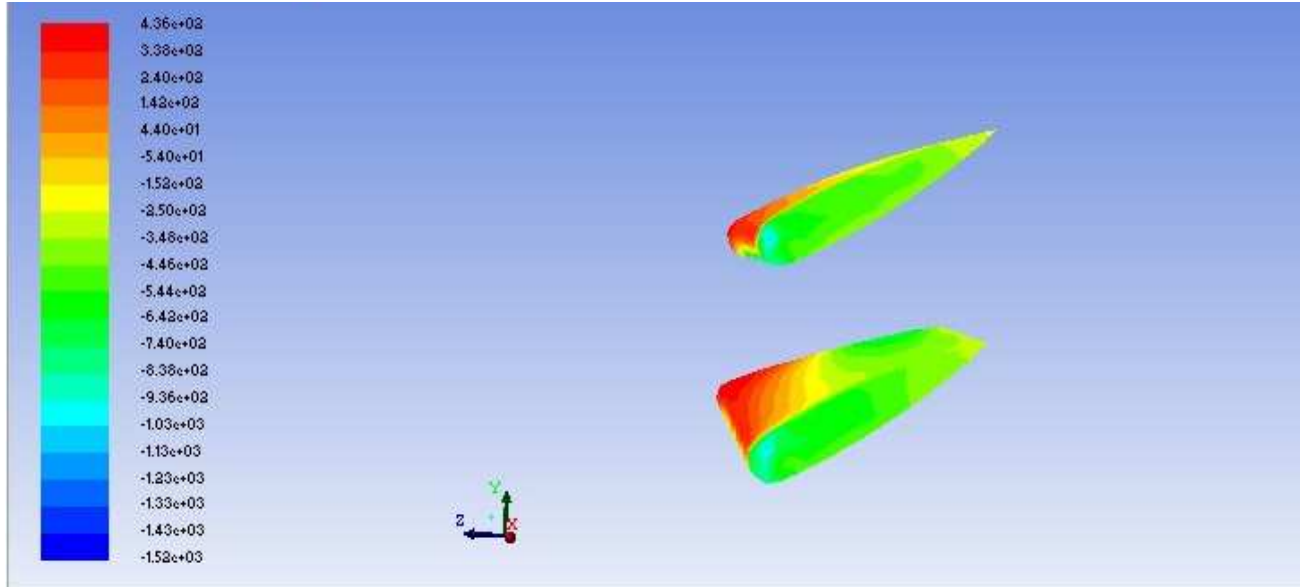


Ilustración 63: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil simétrico

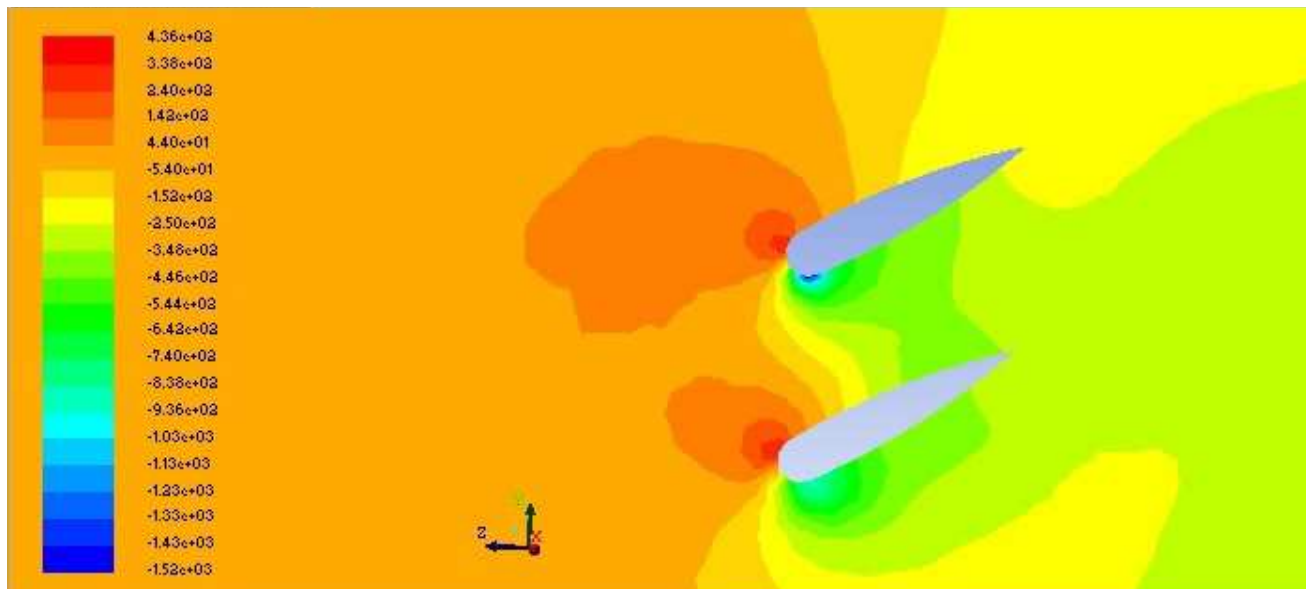


Ilustración 64: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil simétrico

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Como podemos observar en ambas ilustraciones, los alerones casi no realizan su función ya que hay una ínfima diferencia de presión entre el intradós y el extradós, debido al diseño de los alerones pues tienen un perfil simétrico y su ángulo de ataque es cero.

Ahora observaremos el contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones, en la Ilustración 65.

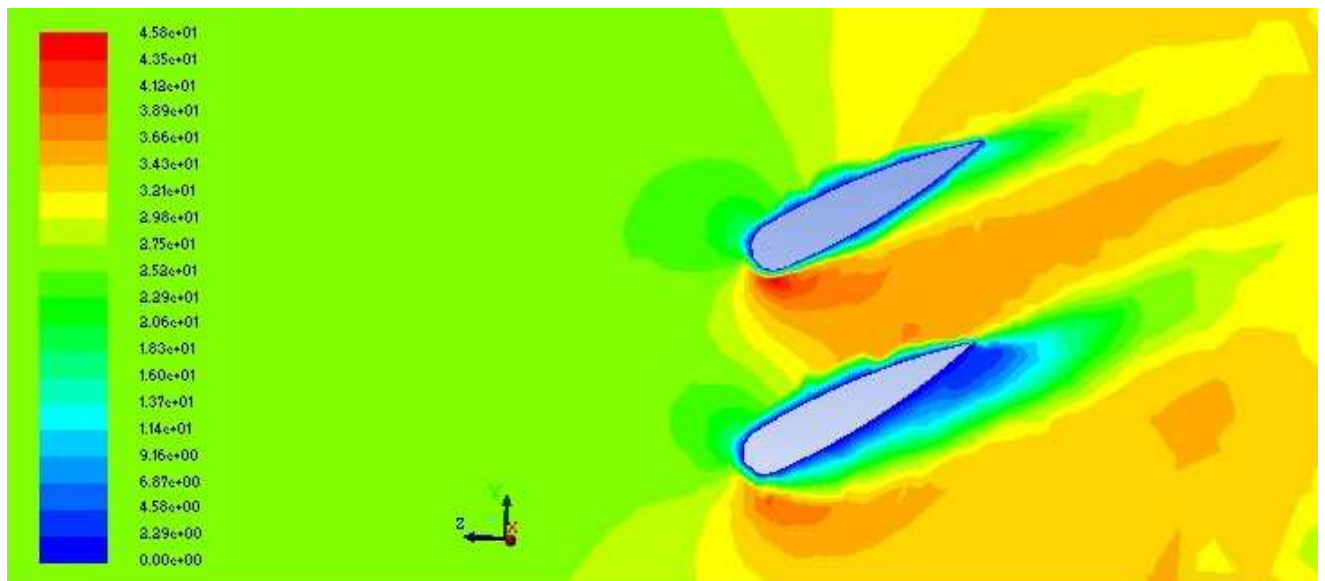


Ilustración 65: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil simétrico

Como podemos observar, con este tipo de perfil para esta configuración incluso llega a producirse un despegue de la capa límite, por lo que podemos deducir que este perfil no será la mejor opción.

Tras observar los contornos anteriores, observamos las fuerzas que generan nuestros alerones. En este caso tenemos una fuerza de sustentación de 3,224 N y una fuerza de arrastre de 1,84 N.

Forces - Direction Vector (0 0 1)				
Zone	Forces (n)			Coefficients
	Pressure	Viscous	Total	Pressure
alerones	-1.7904293	-0.047560638	-1.83799	-0.67687942
Net	-1.7904293	-0.047560638	-1.83799	-0.67687942

Ilustración 66: Fuerza de arrastre del perfil simétrico

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Forces - Direction Vector (0 1 0)				
Zone	Forces (n)			Coefficients
aleroses	Pressure	Viscous	Total	Pressure
	-3.2403786	0.016255878	-3.2241228	-1.2250389
Net	-3.2403786	0.016255878	-3.2241228	-1.2250389

Ilustración 67: Fuerza de sustentación del perfil simétrico

8.4 Comparación de resultados

A continuación haremos una comparativa entre los resultados obtenidos y de entre estos tres perfiles elegiremos aquellos dos que se ajusten mejor a nuestras necesidades, para posteriormente mejorar su rendimiento mediante el uso de dispositivos hipersustentadores.

Perfil	Coeficiente de Resistencia (Cd)	Coeficiente de Sustentación (Cl)	Fuerza de Arrastre (N)	Fuerza de Sustentación (N)
Asimétrico 1	0,933	1,925	2,6	5,36
Asimétrico 2	0,78	1,461	2,25	4,211
Simétrico	0,695	1,219	1,84	3,224

Tabla 1: Comparativa de los resultados obtenidos

Como podemos ver en la Tabla 1 los perfiles que más se ajustan a nuestras necesidades, sin ninguna duda, son los dos perfiles asimétricos. Como era de esperar debido a la teoría expuesta anteriormente con respecto a su diseño y características.

De esta manera los dos perfiles seleccionados son el perfil asimétrico 1 y el perfil asimétrico 2.



9. DISPOSITIVOS HIPERSUSTENTADORES

En este capítulo explicaremos brevemente que son los dispositivos hipersustentadores y explicaremos las características de aquellos dispositivos hipersustentadores que nos son de interés para nuestro diseño.

9.1 Definición

Este tipo de dispositivo son utilizados por los aviones para realizar las maniobras de despegue, aproximación y aterrizaje a velocidades lo suficientemente pequeñas, su misión es aumentar la sustentación producida por el perfil. La hipersustentación se consigue mediante uno (o varios) de los siguientes procedimientos:

- Aumentando la curvatura del perfil.
- Controlando la capa límite, bien inyectando cantidad de movimiento en la subzona de baja energía cinética, o succionando esta subzona.
- Aumentando el área efectiva del ala mediante superficies sustentadoras auxiliares (flaps) que se desplazan al mismo tiempo que se deflectan, con lo que aumenta la cuerda del perfil.

9.2 Tipos

Expondremos una serie de dispositivos hipersustentadores y hablaremos de sus características. Hemos de mencionar, que los dispositivos aquí expuestos no son todos aquellos que existen, son solo una selección realizada por el autor teniendo en cuenta cuales beneficiaran a nuestro diseño.

Cabe destacar que a mayor aumento de la capacidad de sustentación de un perfil gracias a este tipo de dispositivos, suele ir acompañado de un aumento de las complicaciones mecánicas, pero este tipo de complicaciones no son el objetivo de este proyecto, sin embargo sería interesante su estudio en futuros proyectos.

Y por último y como consejo para futuros proyectos, una manera interesante de resolver estas complicaciones mecánicas sería tratar de reproducir a una menor escala los dispositivos utilizados en aviones.

9.2.1 Flap Fowler

Este tipo de flap permite aumentar la curvatura y el área proyectada, así como controlar la capa límite. El elemento hipersustentador recorre a lo largo de unas guías una distancia del orden de la cuerda y luego se deflecta. Aumentando la sustentación, pero no mucho a resistencia. Genera momento de picado. Se puede llegar a aumentar el coeficiente de sustentación hasta en un 90%.

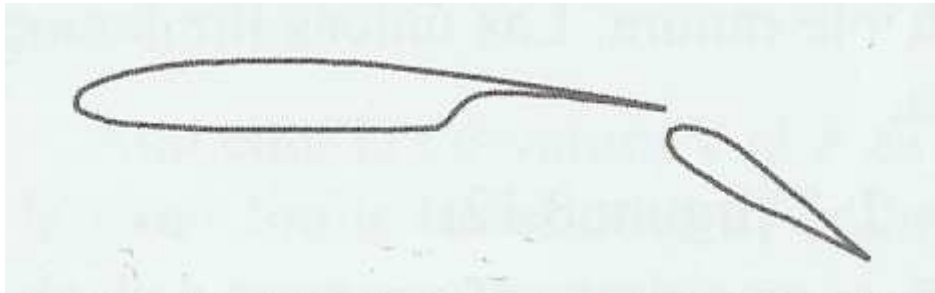


Ilustración 68: Dispositivo flap Fowler

9.2.2 Flap Fowler con ranura doble

Los beneficios aerodinámicos que se obtienen con este tipo de flap son superiores a los del anterior a costa de una mayor complejidad mecánica, como hemos dicho al principio de este capítulo. Las secciones del flap se mueven unas con respecto a otras para conseguir la mayor eficacia a cada deflexión. Existen con triple ranura. Las únicas limitaciones son la complicación estructural y el peso. Se puede llegar a aumentar el coeficiente de sustentación hasta en un 100%.

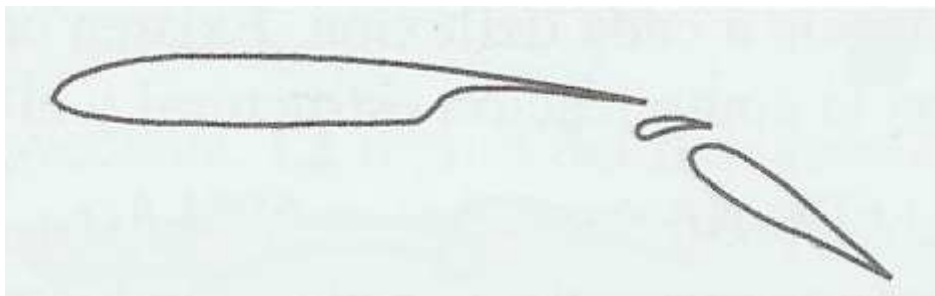


Ilustración 69: Dispositivo flap Fowler con ranura doble

9.2.3 Álula (slat) y flap Fowler con ranura doble

Aumenta la curvatura y el área proyectada. La ranura del flap succiona la capa límite anterior y el álula la estabiliza en las proximidades del borde de ataque. Es la combinación óptima. Existen configuraciones con triple ranura. Las variaciones que experimenta el momento con respecto al centro aerodinámico se pueden compensar parcialmente por la combinación de dos efectos contrarios. Se puede llegar a aumentar el coeficiente de sustentación hasta en un 120%



Ilustración 70: Dispositivo Álula (slat) y flap Fowler con ranura doble



10. RESULTADOS OBTENIDOS PERFILES RE-DISEÑADOS

Al igual que en el capítulo 8 expondremos los resultados obtenidos del cálculo de las características aerodinámicas de los perfiles, que en este caso han sido rediseñados. Para asegurarnos de que los cálculos realizados son fiables, volvemos a observar que los residuos de la ecuación de la continuidad, convergen por debajo o igual de un valor de 10^{-3} .

Una vez vistos los distintos cálculos, seleccionaremos aquel perfil cuyas características mejor se ajusten a nuestras necesidades.

Este tema lo dividiremos en dos apartados correspondientes a cada uno de los perfiles seleccionados anteriormente que a su vez se subdividirá en otros apartados correspondientes a los distintos dispositivos hipersustentadores, vistos en el capítulo anterior, aplicados a los perfiles iniciales.

10.1 Perfil Asimétrico 1

Como recordatorio, este perfil fue el primero en ser seleccionado ya que sus características son las que sin duda mejor se ajustan a nuestras necesidades.

Ahora expondremos los resultados de la aplicación de los dispositivos hipersustentadores a nuestro perfil. El análisis de estas características se realizará de igual manera que en los perfiles simples.

10.1.1 Perfil Asimétrico 1 Fowler

Los resultados de este perfil llegaron a convergir a las 1170 iteraciones, los residuos llegan a convergir en un valor por debajo o igual de 10^{-3} , lo cual para esta ecuación es aceptable.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

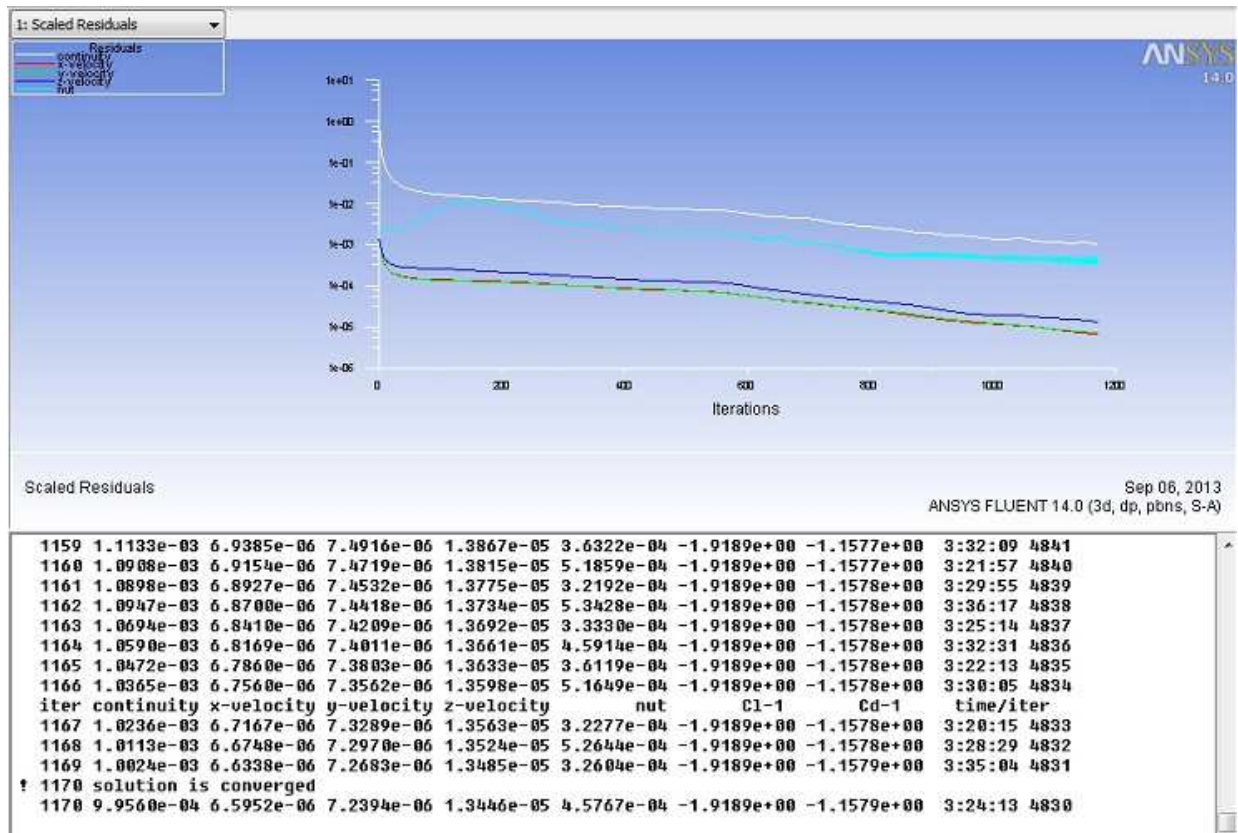


Ilustración 71: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 1 Fowler

Como hicimos en casos anteriores, una vez que aseguramos que nuestros cálculos son fiables, exponemos los resultados obtenidos.

El coeficiente de resistencia (drag) obtenido es de 1,158, y el coeficiente de sustentación (lift) obtenido es de 1,92. Como podemos observar en las Ilustraciones 72 y 73 respectivamente.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

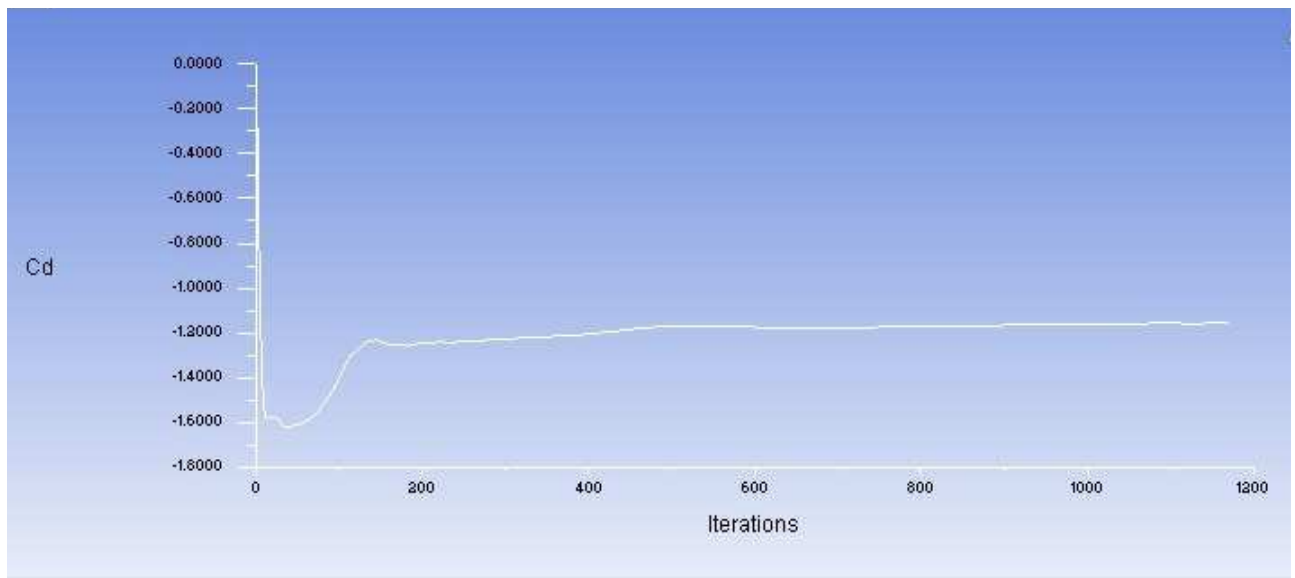


Ilustración 72: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 1 Fowler

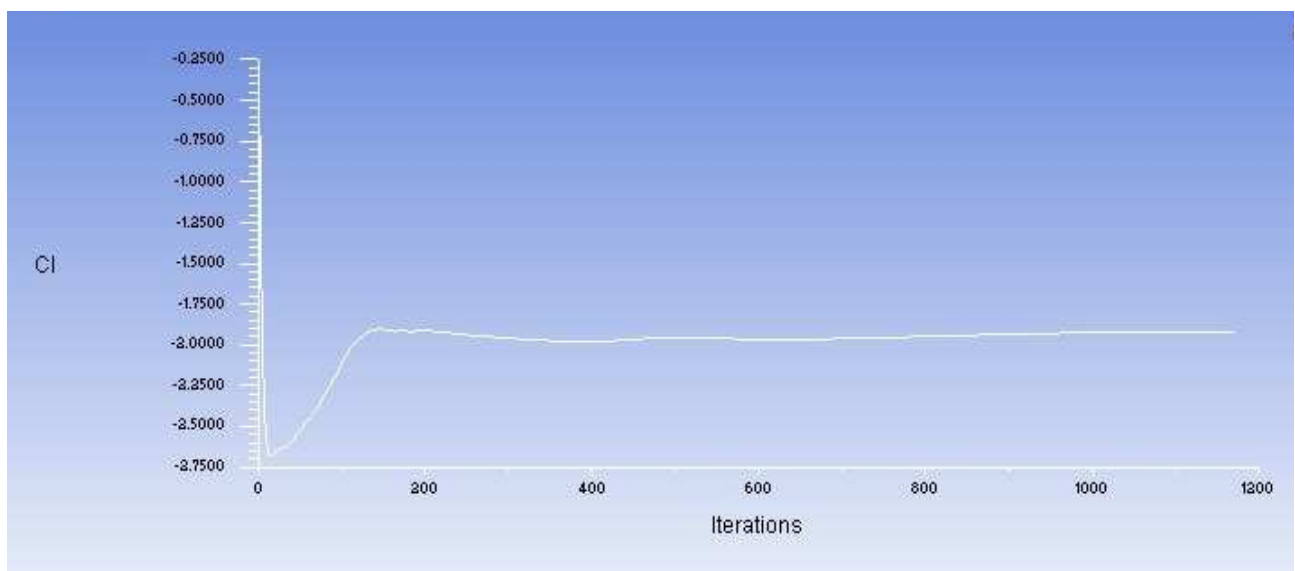


Ilustración 73: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 1 Fowler

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

A continuación vemos los contornos de presiones sobre nuestro perfil con sus dispositivos hipersustentadores, en las Ilustraciones 74 y 75.

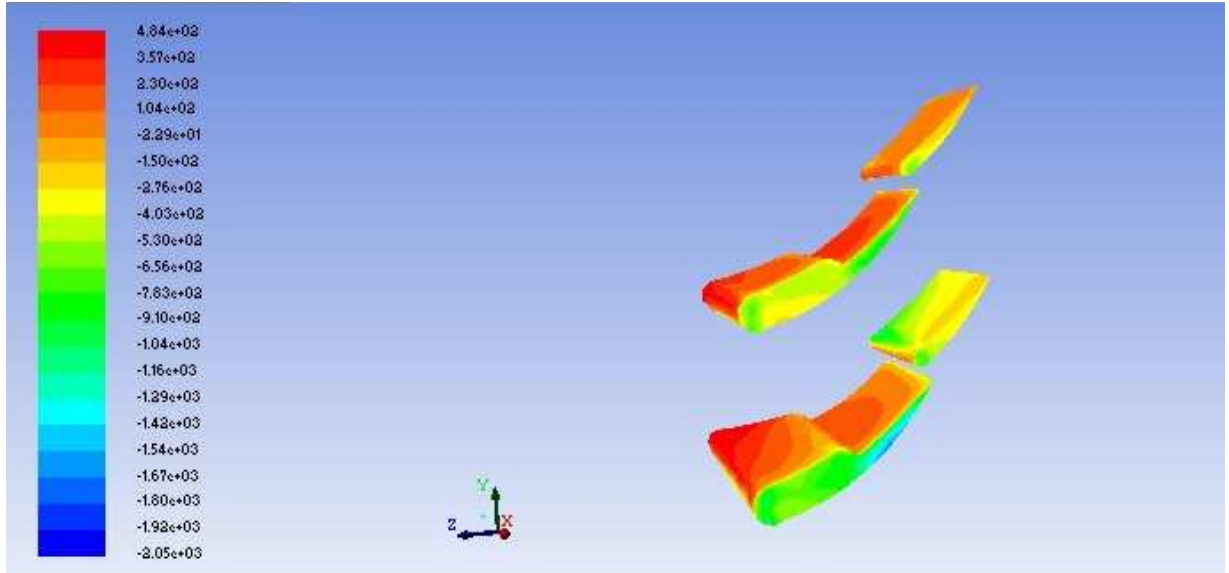


Ilustración 74: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 1 Fowler



Ilustración 75: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1 Fowler

En ambas ilustraciones, los alerones realizan su función sin embargo, podemos observar que en el caso del Fowler del alerón inferior no llega a poder aprovechar al

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

máximo su capacidad de sustentación. Debido al diseño de los alerones pues, en este caso existe un problema de espacio, ya que el alerón superior evita que el flujo de aire incida de forma directa sobre el Fowler inferior.

Podemos observaremos el contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones, en la Ilustración 76.

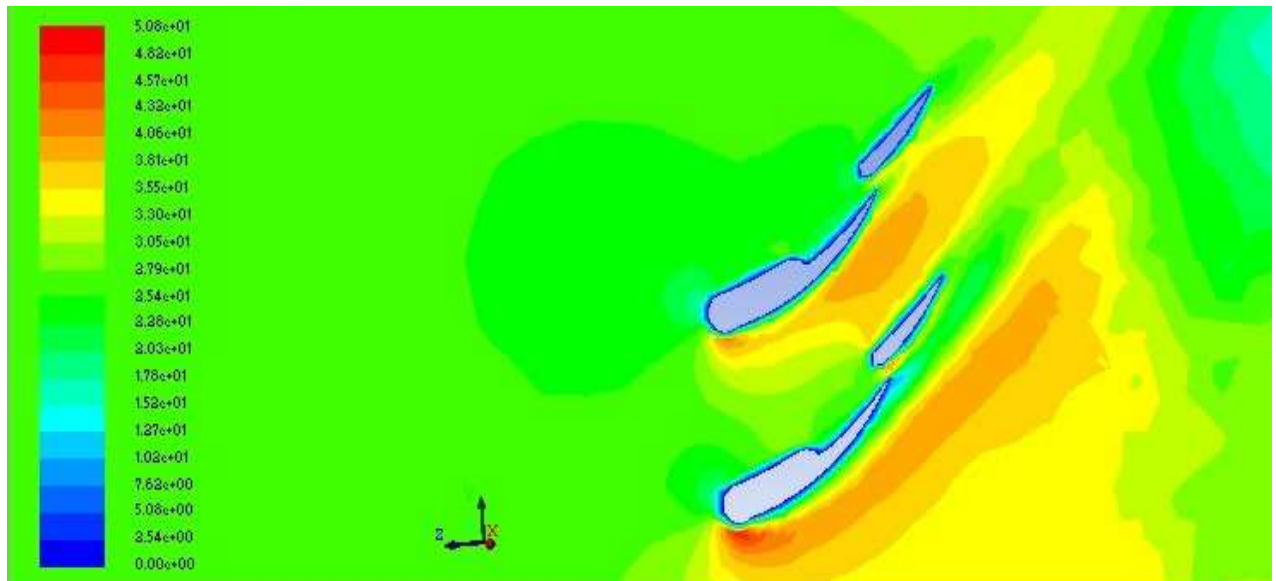


Ilustración 76: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1 Fowler

Como podemos observar, al igual que en caso de contornos de presiones confirmamos que el Fowler correspondiente al alerón inferior no llega a trabajar con toda la efectividad que podría, ya que la velocidad en el intradós y extradós es muy similar. Esto es debido a que no incide el aire como debería sobre este dispositivo, debido al problema de espacio anteriormente comentado.

Tras observar los contornos anteriores, observamos las fuerzas que generan nuestros alerones. En este caso tenemos una fuerza de sustentación de 6,98 N y una fuerza de arrastre de 4,211 N.

Forces - Direction Vector (0 0 1)				
Zone	Forces (n) Pressure	Viscous	Total	Coefficients Pressure
alerones	-4.1475392	-0.063714574	-4.2112538	-1.1403598
Net	-4.1475392	-0.063714574	-4.2112538	-1.1403598

Ilustración 77: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 1 Fowler

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Forces - Direction Vector (0 1 0)				
Zone	Forces (n)			
alerones	Pressure	Viscous	Total	Coefficients
	-7.0136703	0.034426396	-6.9792439	Pressure
Net	-7.0136703	0.034426396	-6.9792439	-1.9283984

Ilustración 78: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 1 Fowler

10.1.2 Perfil Asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble

Los resultados de este perfil llegaron a convergir a las 1430 iteraciones, los residuos llegan a convergir en un valor por debajo o igual de 10^{-3} , lo cual para esta ecuación es aceptable.

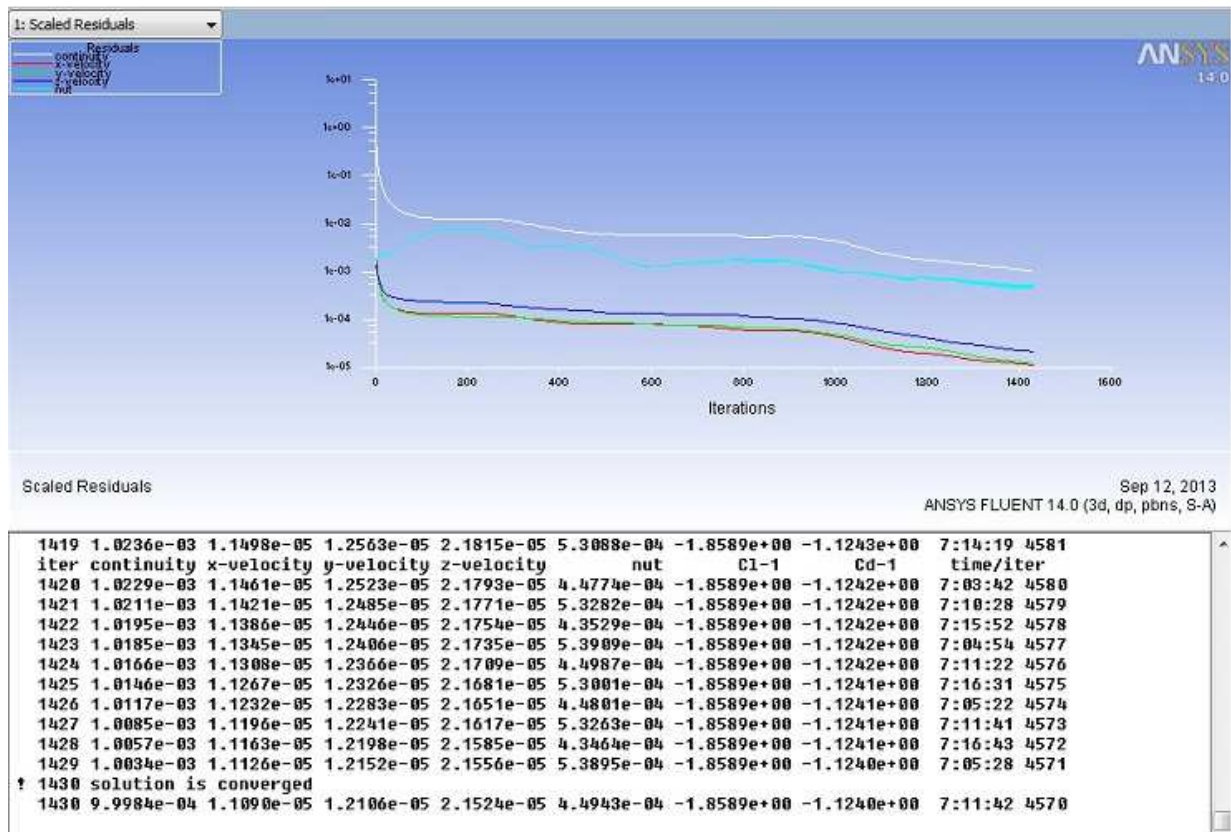


Ilustración 79: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble

Siguiendo el procedimiento habitual, una vez que aseguramos que nuestros cálculos son fiables, expondremos los resultados obtenidos.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

El coeficiente de resistencia (drag) obtenido es de 1,24, y el coeficiente de sustentación (lift) obtenido es de 1,86. Como podemos observar en las Ilustraciones 80 y 81 respectivamente.

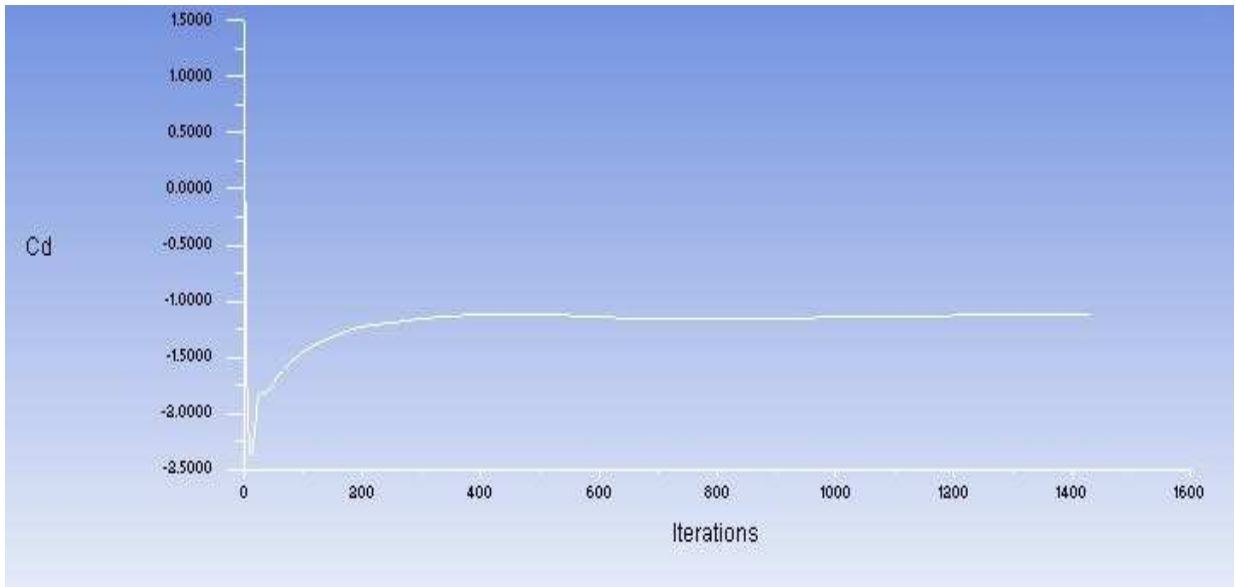


Ilustración 80: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble

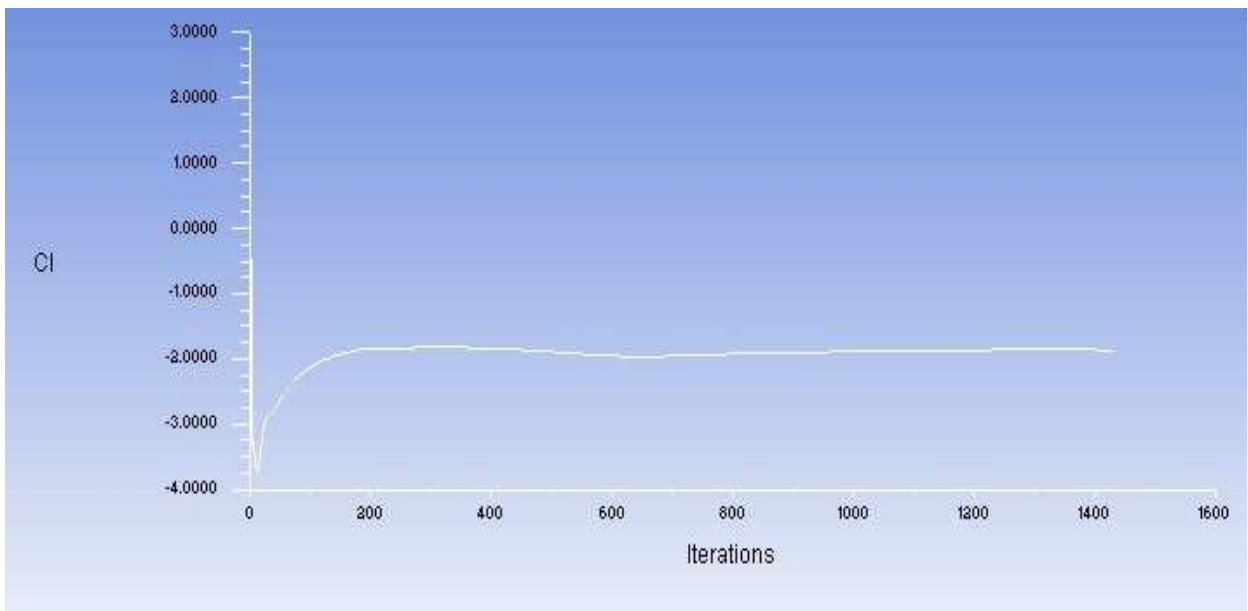


Ilustración 81: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

A continuación vemos los contornos de presiones sobre nuestro perfil con sus dispositivos hipersustentadores, en las Ilustraciones 82 y 83.

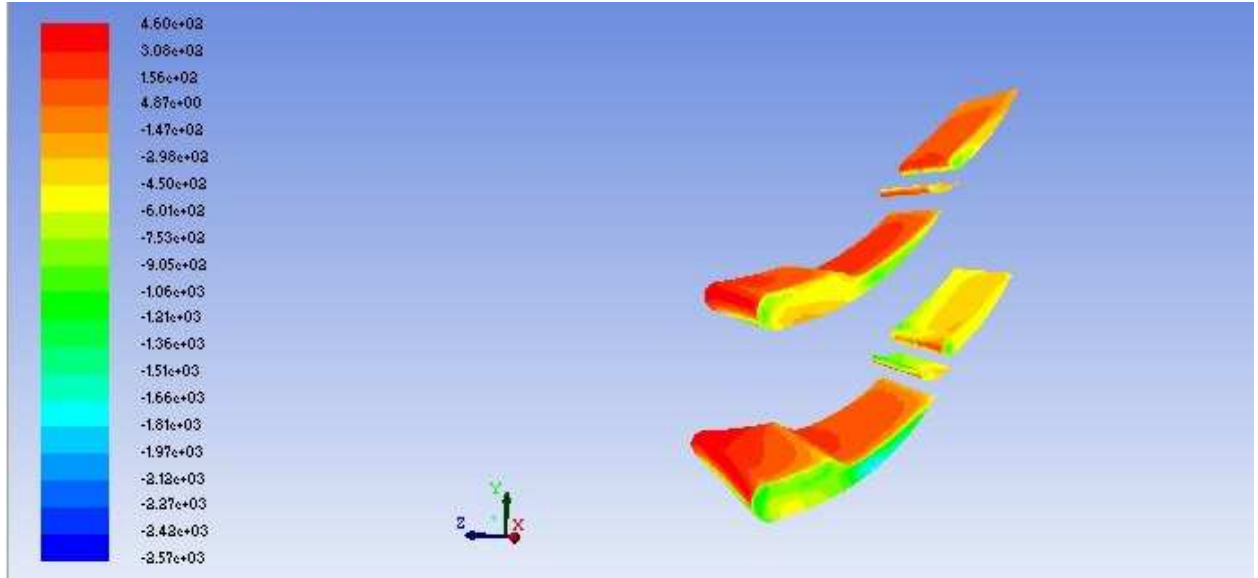


Ilustración 82: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble

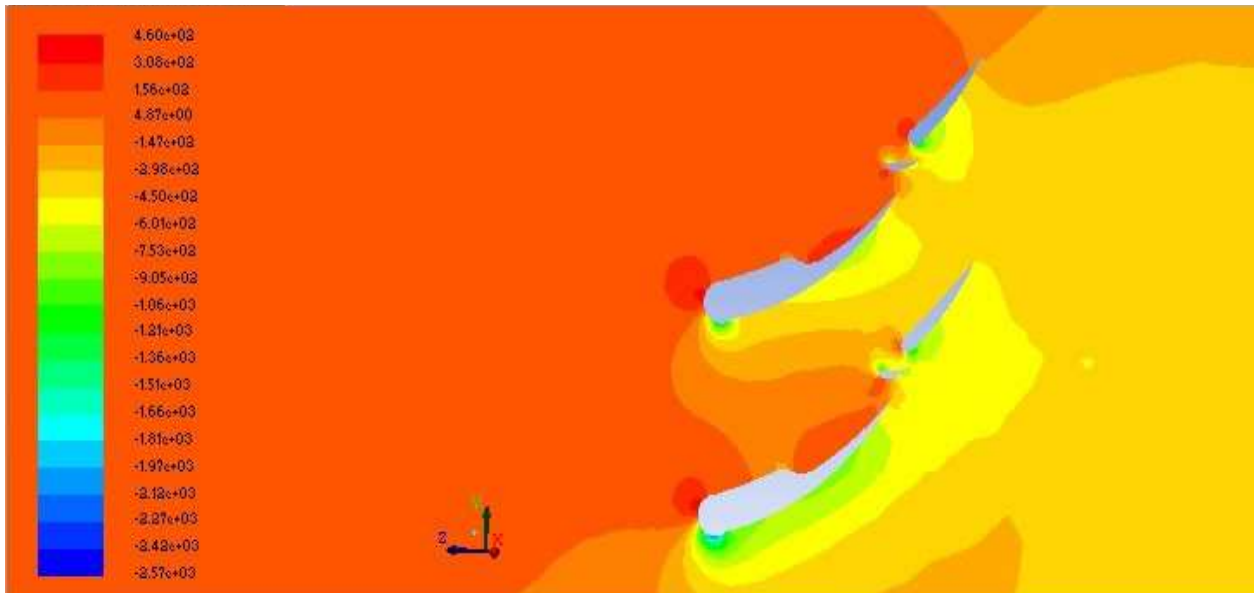


Ilustración 83: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Observando ambas imágenes podemos deducir que al igual que en el caso anterior los alerones realizan su función sin embargo, en el caso del Fowler y la segunda ranura del alerón inferior no se llega a aprovechar al máximo su capacidad de sustentación. Debido al diseño de los alerones pues ya que el alerón superior evita que el flujo de aire incida de forma directa sobre el Fowler y la segunda ranura del alerón inferior.

Podemos observaremos el contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones, en la Ilustración 84.

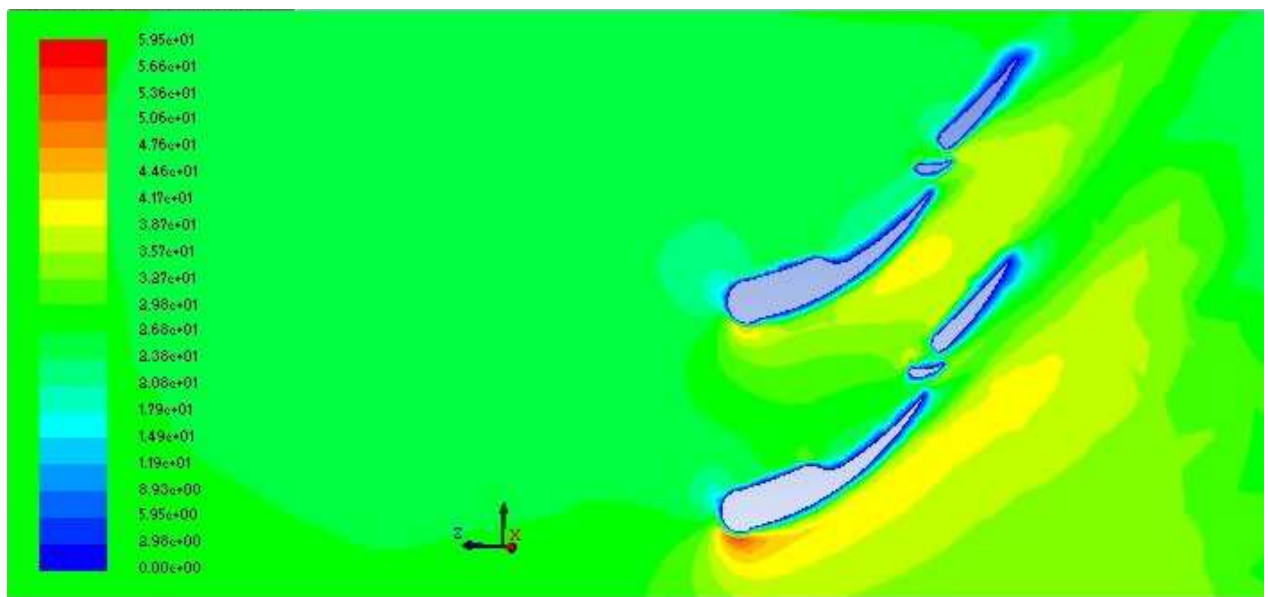


Ilustración 84: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble

Viendo la Imagen 84, podemos ver que el alerón inferior no llega a trabajar con toda su efectividad, ya que en su Fowler y segunda ranura no hay gran diferencia de velocidades entre el intradós y el extradós, debido a los problemas de espacio anteriormente comentados.

Tras observar los contornos anteriores, observamos las fuerzas que generan nuestros alerones. En este caso tenemos una fuerza de sustentación de 7,2 N y una fuerza de arrastre de 4,354 N.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Forces - Direction Vector (0 0 1)				
Zone	Forces (n) Pressure	Viscous	Total	Coefficients Pressure
alerones	-4.2813268	-0.072243612	-4.3535704	-1.1053674
Net	-4.2813268	-0.072243612	-4.3535704	-1.1053674

Ilustración 85: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble

Forces - Direction Vector (0 1 0)				
Zone	Forces (n) Pressure	Viscous	Total	Coefficients Pressure
alerones	-7.2333553	0.033341334	-7.200014	-1.8675321
Net	-7.2333553	0.033341334	-7.200014	-1.8675321

Ilustración 86: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble

10.1.3 Perfil Asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble

Los resultados de este perfil llegaron a convergir a las 908 iteraciones, los residuos llegan a convergir en un valor por debajo o igual de 10^{-3} , lo cual para esta ecuación es aceptable.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

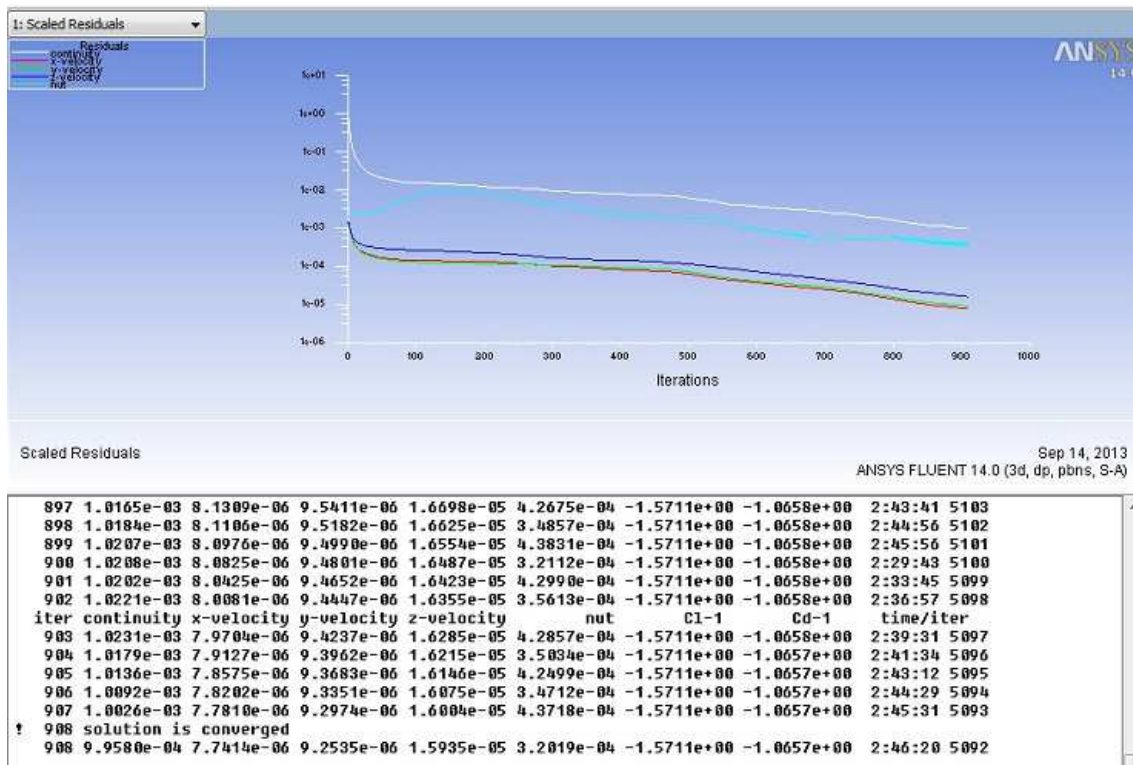


Ilustración 87: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble

Una vez que aseguramos que nuestros cálculos son fiables, mostraremos los resultados obtenidos.

El coeficiente de resistencia (drag) obtenido es de 1,066, y el coeficiente de sustentación (lift) obtenido es de 1,57. Como podemos observar en las Ilustraciones 88 y 89 respectivamente.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

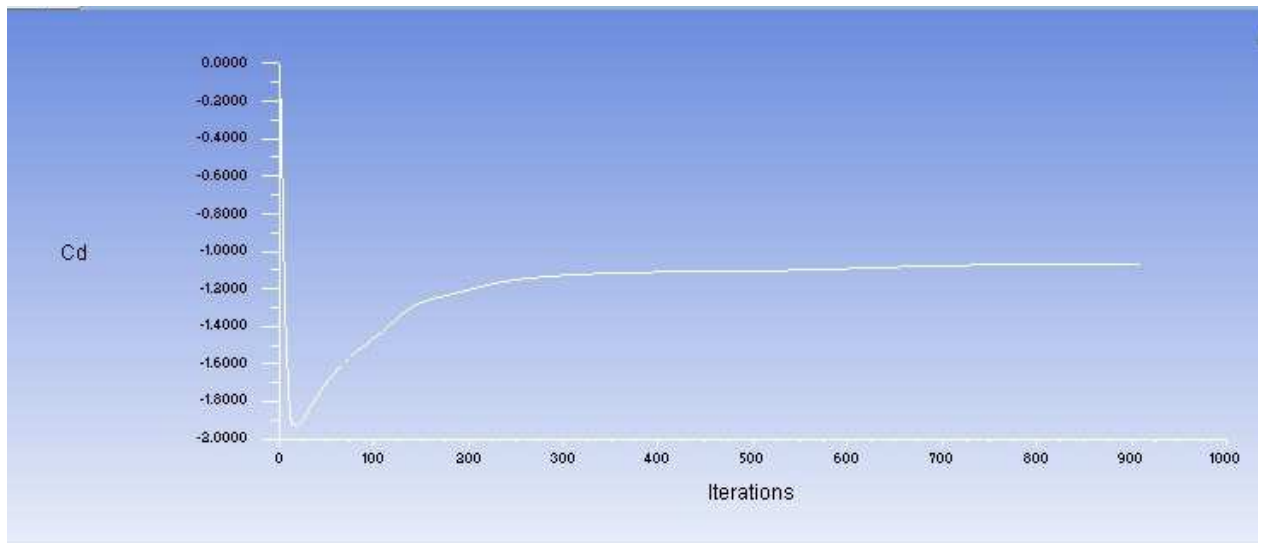


Ilustración 88: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble

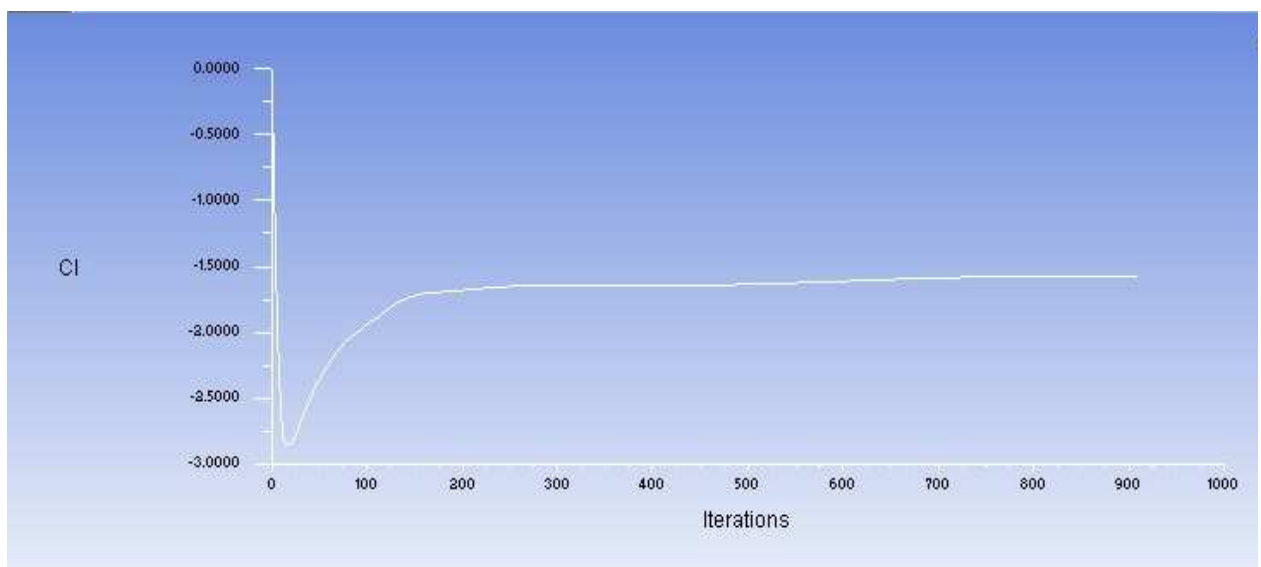
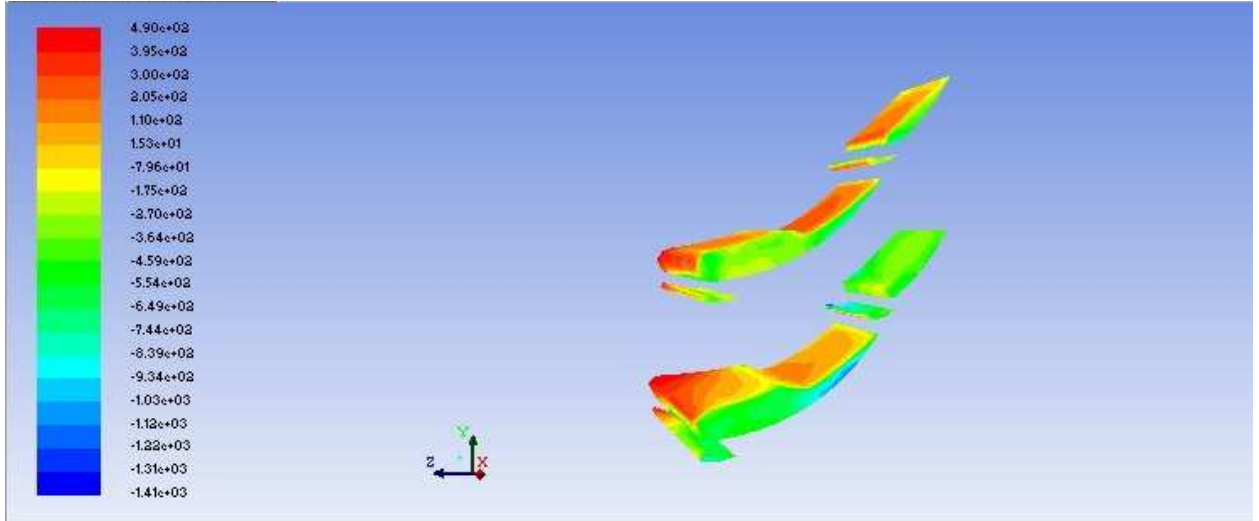


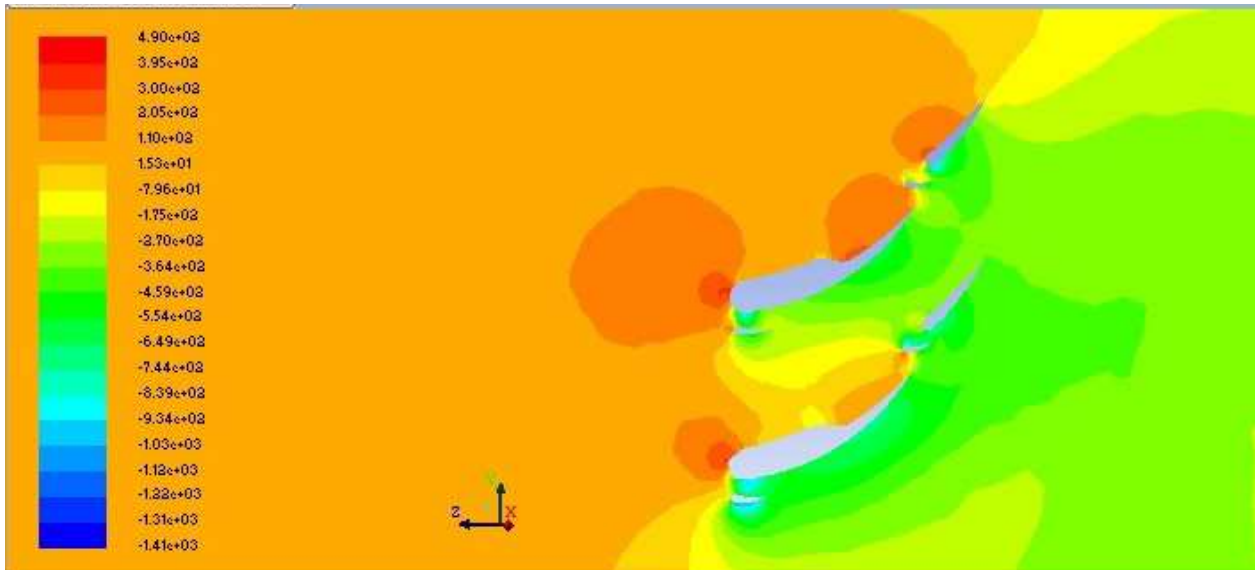
Ilustración 89: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Ahora vemos los contornos de presiones sobre nuestro perfil con sus dispositivos hipersustentadores, en las Ilustraciones 90 y 91.



**Ilustración 90: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 1
Álula y flap Fowler con ranura doble**



**Ilustración 91: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones
con perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble**

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

En las dos últimas imágenes podemos observar que continúa sin aprovechar al máximo la capacidad del alerón inferior debido a los problemas de espacio y sus consecuencias, la variación del flujo de aire.

Podemos observaremos el contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones, en la Ilustración 92.

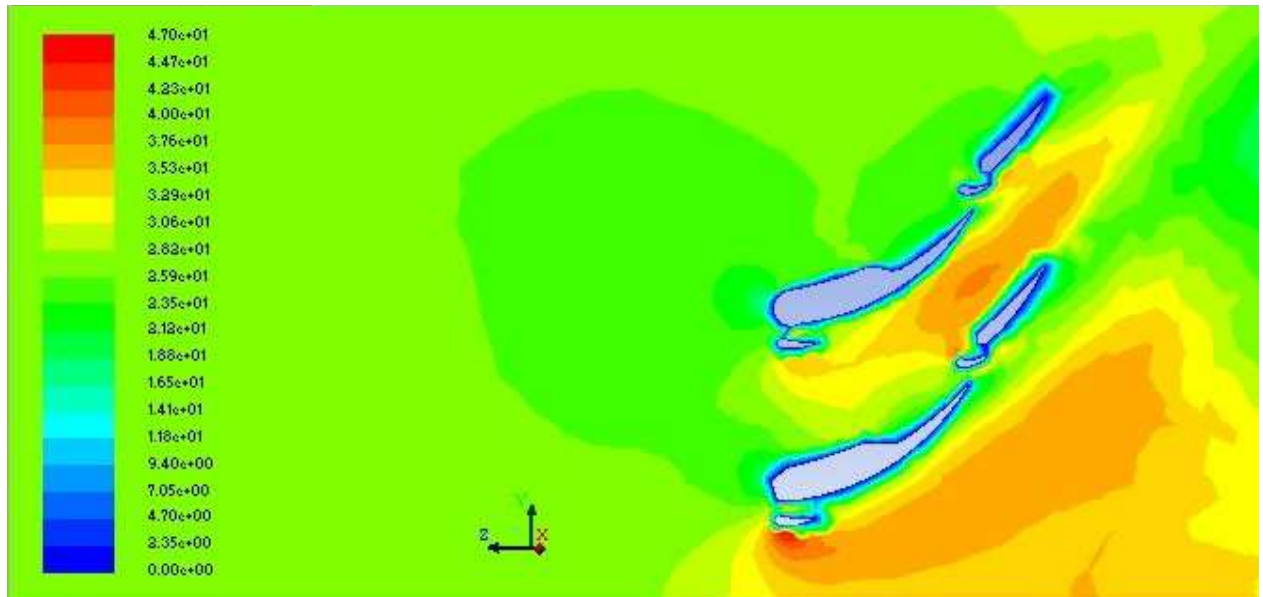


Ilustración 92: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 1. Ábula y flap Fowler con ranura doble

Al ver las velocidades y las diferencias de estas en el intradós y extradós de nuestros alerones, podemos ver el problema anteriormente expuesto con respecto a la efectividad del alerón inferior, debido a que el flujo de aire llega con velocidad muy parecida en ambas caras del alerón.

Tras observar los contornos anteriores, observamos las fuerzas que generan nuestros alerones. En este caso tenemos una fuerza de sustentación de 7,2 N y una fuerza de arrastre de 4,53 N.

Forces - Direction Vector (0 0 1)				
Zone	Forces (n)			Coefficients
alerones	Pressure	Viscous	Total	Pressure
	-4.448834	-0.081636226	-4.5304702	-1.0465159
Net	-4.448834	-0.081636226	-4.5304702	-1.0465159

Ilustración 93: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 1. Ábula y flap Fowler con ranura doble

Forces - Direction Vector (0 1 0)				
Zone	Forces (n)			Coefficients
aleroses	Pressure	Viscous	Total	Pressure
	-7.7108733	0.03194717	-7.6789261	-1.578624
Net	-7.7108733	0.03194717	-7.6789261	-1.578624

Ilustración 94: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble

10.2 Perfil Asimétrico 2

Este perfil fue el segundo en ser seleccionado, ya que sus características se adecuaban en gran parte a nuestras necesidades.

A continuación expondremos los resultados de la aplicación de los dispositivos hipersustentadores a este perfil. Al igual que en el caso anterior, el análisis de estas características se realizará de la misma forma que los perfiles simples.

10.2.1 Perfil Asimétrico 2 Fowler

Los resultados de este perfil llegaron a convergir a las 1190 iteraciones, los residuos llegan a convergir en un valor por debajo o igual de 10^{-3} , lo cual para esta ecuación es aceptable.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

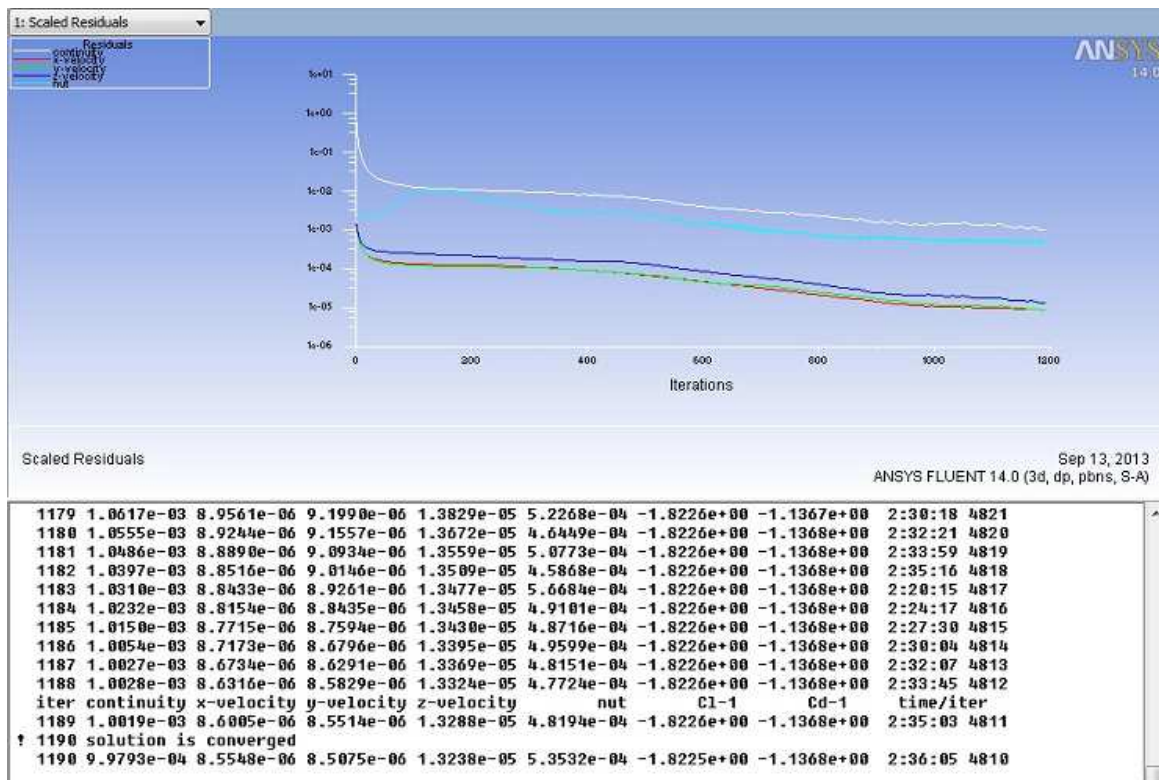


Ilustración 95: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 2 Fowler

Tras asegurarnos que nuestros cálculos son fiables, mostramos los resultados obtenidos.

El coeficiente de resistencia (drag) obtenido es de 1,137 y el coeficiente de sustentación (lift) obtenido es de 1,822. Como podemos observar en las Ilustraciones 96 y 97 respectivamente.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

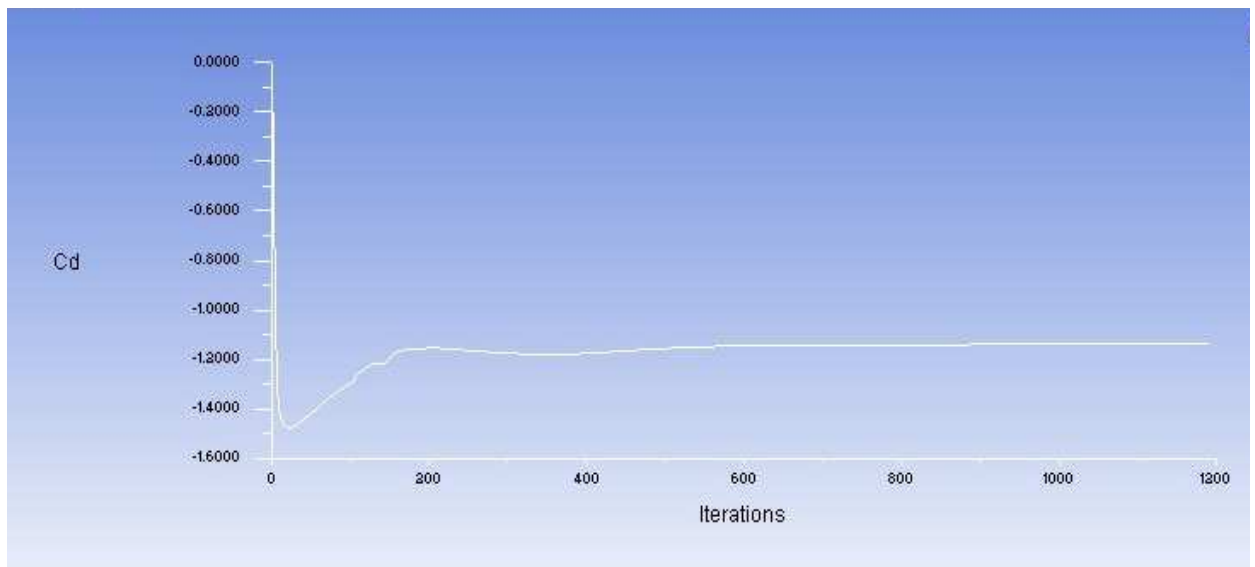


Ilustración 96: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 2 Fowler

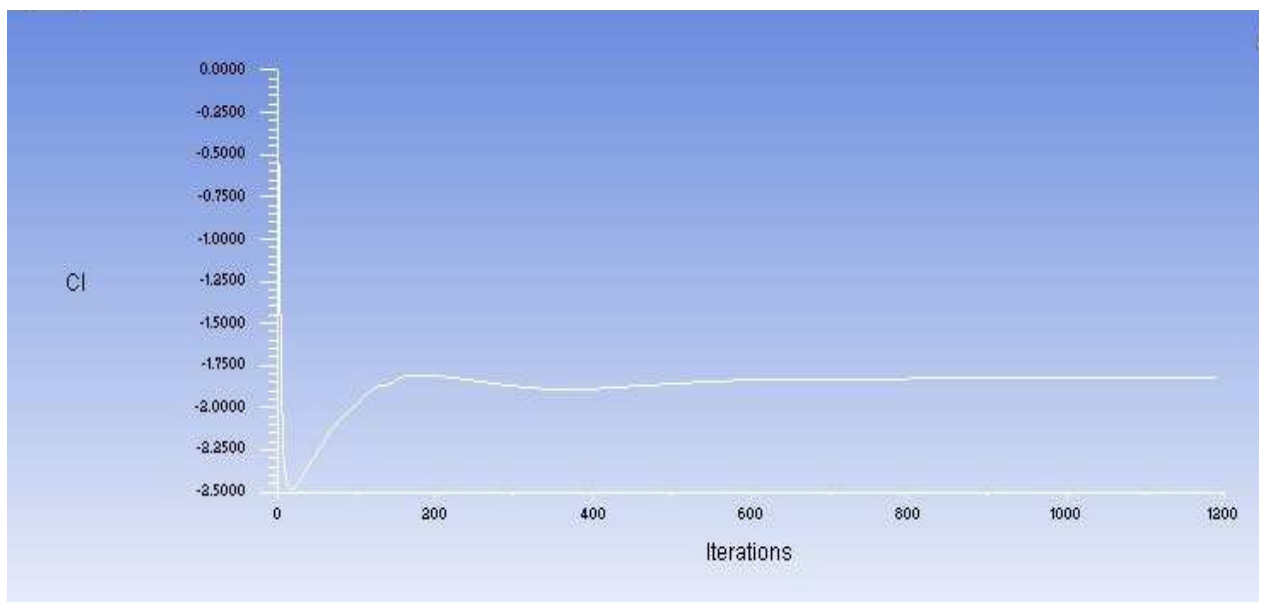


Ilustración 97: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 2 Fowler

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Ahora vemos los contornos de presiones sobre nuestro perfil con sus dispositivos hipersustentadores, en las Ilustraciones 98 y 99.

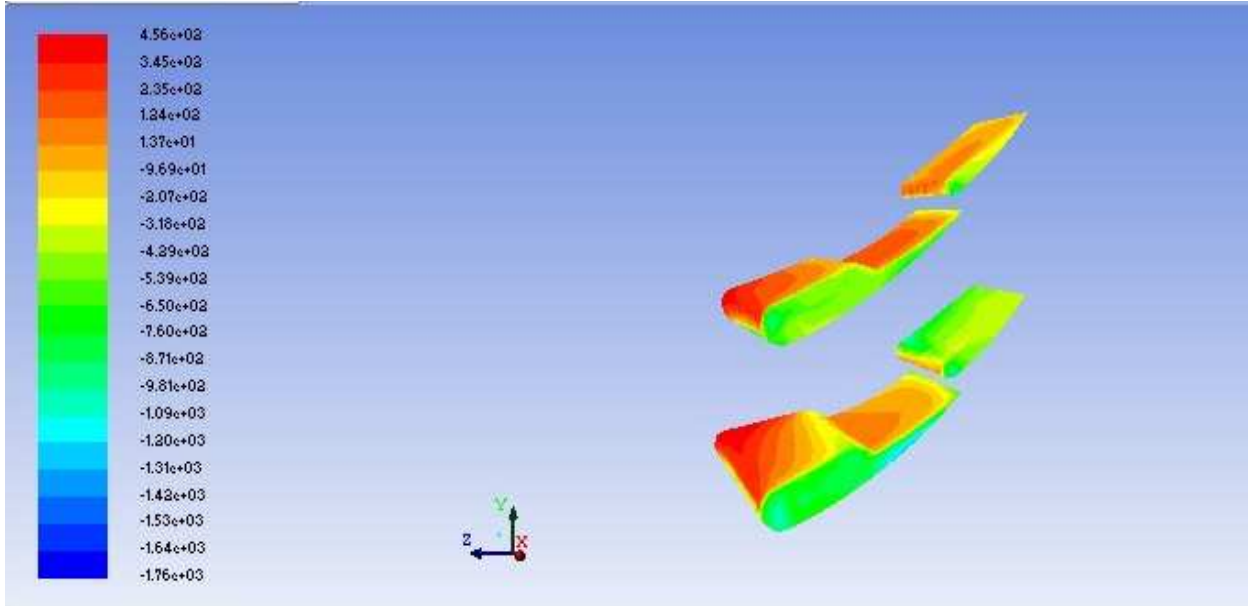


Ilustración 98: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Fowler

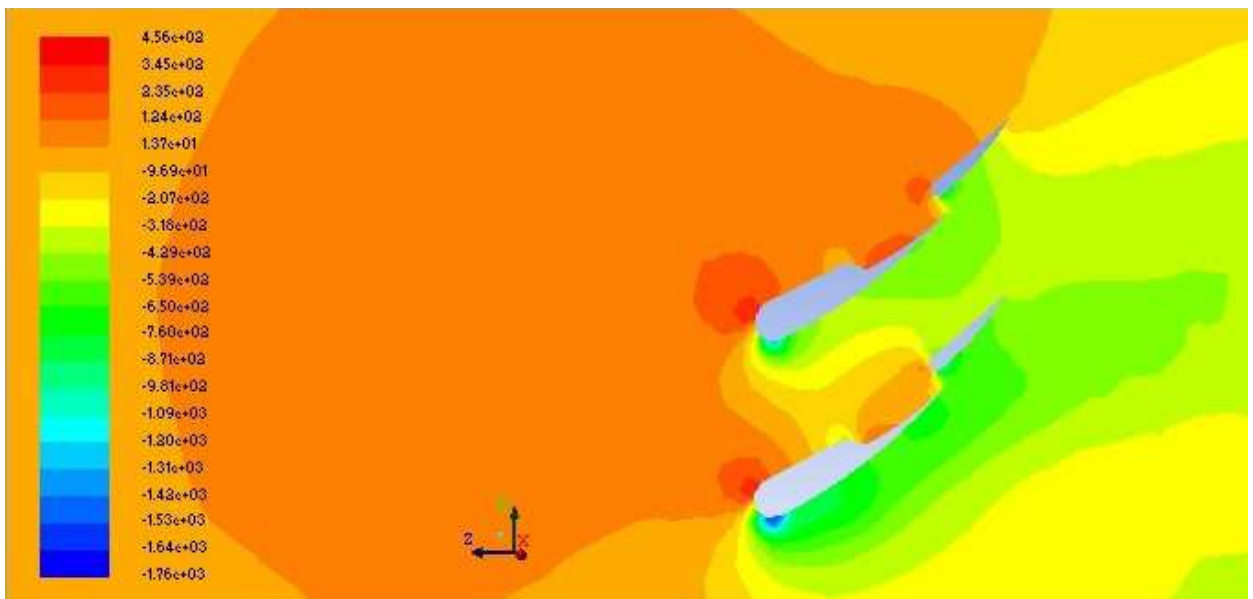


Ilustración 99: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Fowler

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Al igual que ocurrió en el caso del perfil asimétrico 1, no aprovechamos al máximo las características de nuestro Fowler inferior, por culpa de la distancia de separación entre ambos alerones, la cual debería ser superior. Sin embargo esta distancia no se puede aumentar por problemas de espacio en el guardabarros.

A continuación podemos observaremos el contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones, en la Ilustración 100.

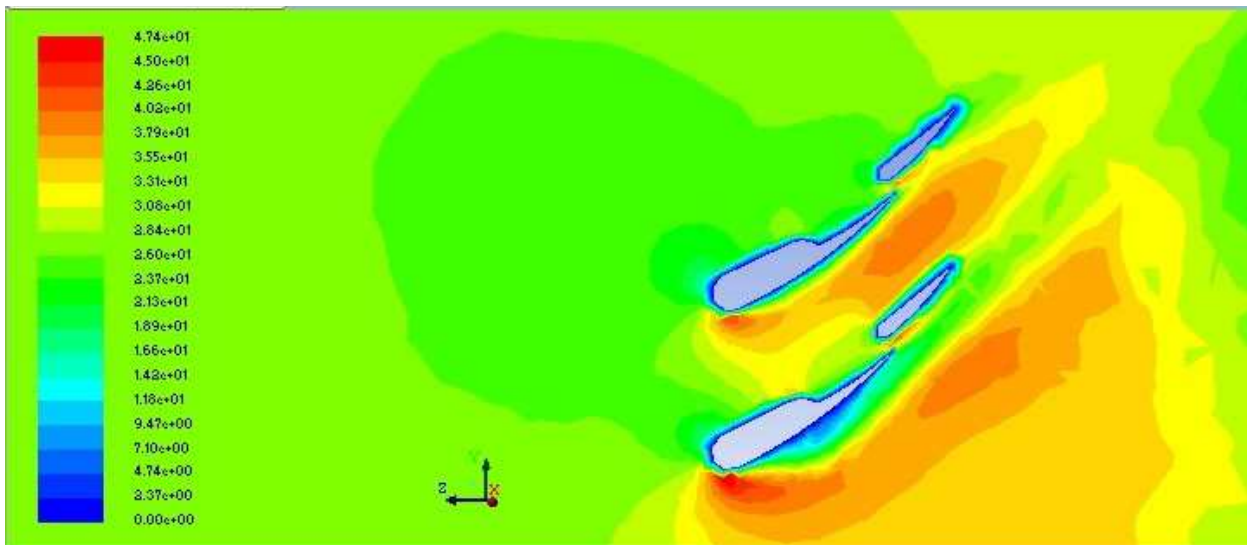


Ilustración 100: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Fowler

Volvemos a observar que el Fowler del alerón inferior no genera toda la sustentación que podría generar, debido a la similitud entre las velocidades del intradós y del extradós.

Tras observar los contornos anteriores, observamos las fuerzas que generan nuestros alerones. En este caso tenemos una fuerza de sustentación de 6,54 N y una fuerza de arrastre de 4,08 N.

Forces - Direction Vector (0 0 1)				
Zone	Forces (n)			Coefficients
aleronos	Pressure	Viscous	Total	Pressure
	-4.0209182	-0.060111027	-4.0810292	-1.1200922
Net	-4.0209182	-0.060111027	-4.0810292	-1.1200922

Ilustración 101: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 2 Fowler

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Forces - Direction Vector (0 1 0)				
Zone	Forces (n)			Coefficients
aleros	Pressure	Viscous	Total	Pressure
	-6.5749927	0.03241152	-6.5425812	-1.8315712
Net	-6.5749927	0.03241152	-6.5425812	-1.8315712

Ilustración 102: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 2 Fowler

10.2.2 Perfil Asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble

Los resultados de este perfil llegaron a convergir a las 1036 iteraciones, los residuos llegan a convergir en un valor por debajo o igual de 10^{-3} , lo cual para esta ecuación es aceptable.

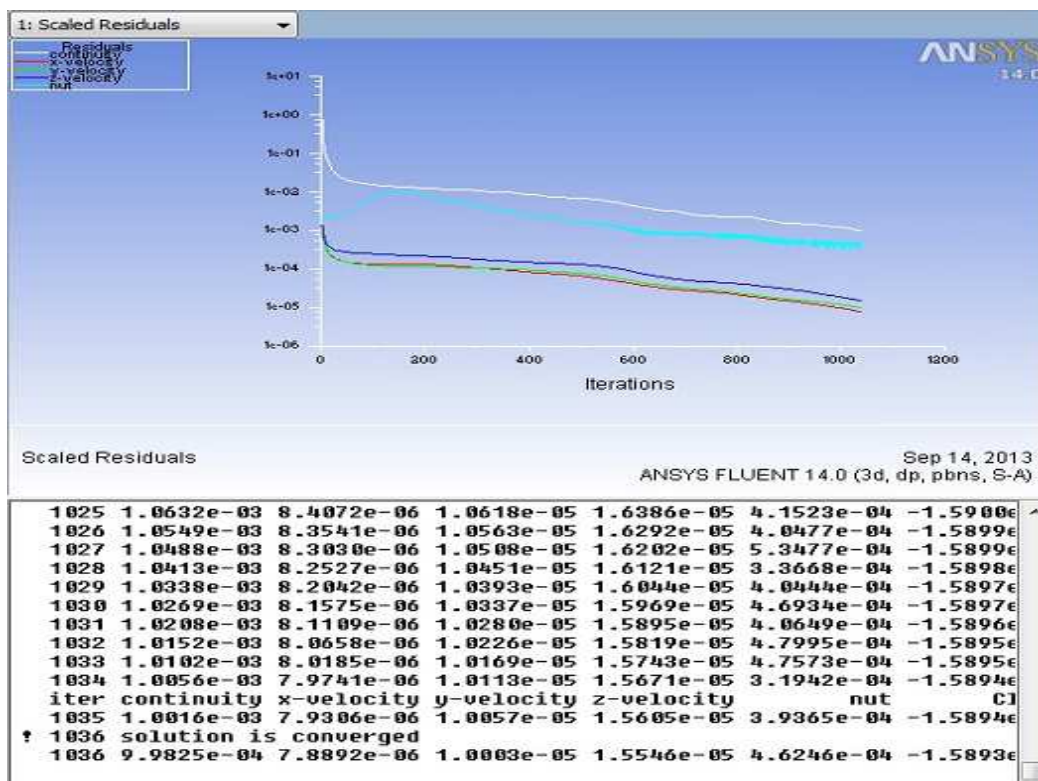


Ilustración 103: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble

Una vez comprobada la fiabilidad de nuestros cálculos, mostramos los resultados obtenidos.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

El coeficiente de resistencia (drag) obtenido es de 1,047 y el coeficiente de sustentación (lift) obtenido es de 1,59. Como podemos observar en las Ilustraciones 104 y 105 respectivamente.

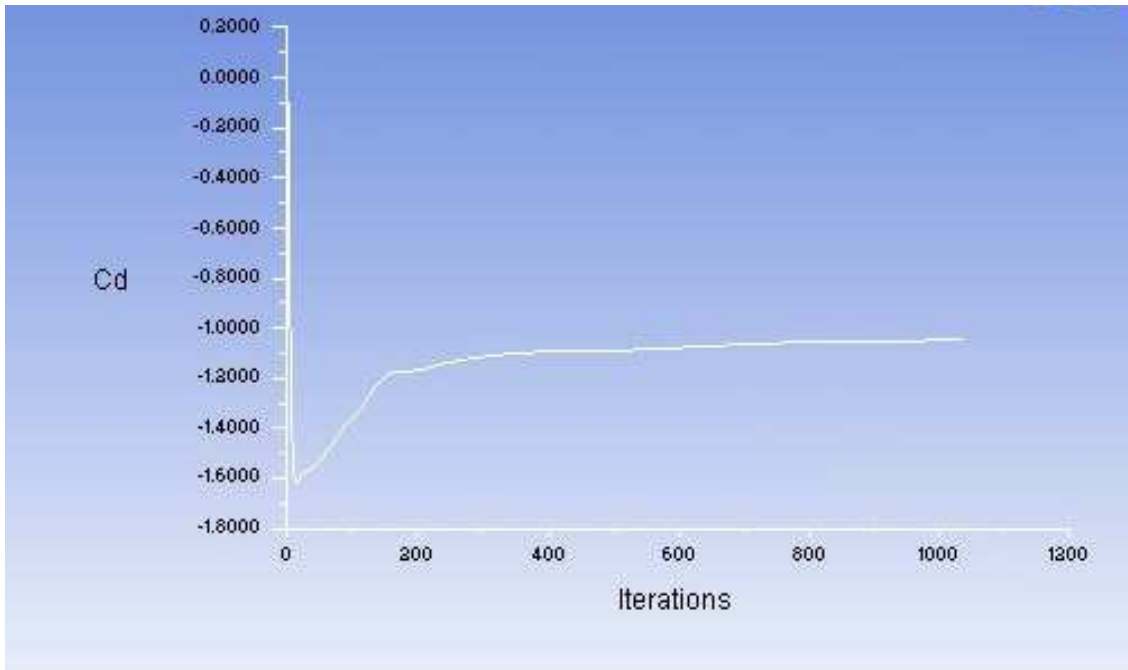


Ilustración 104: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble

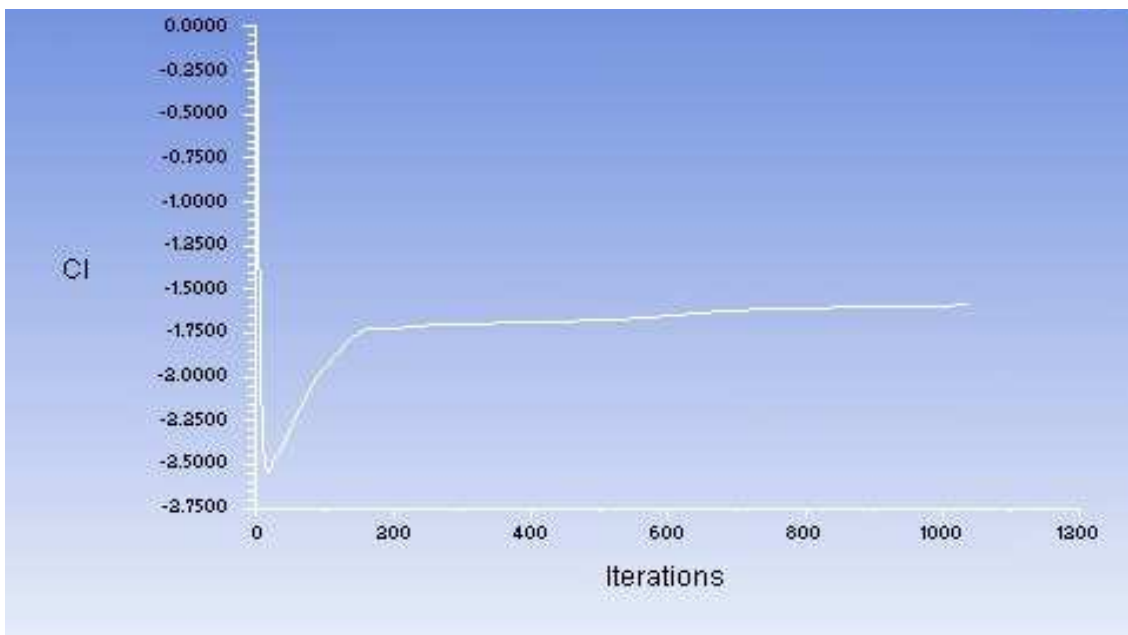


Ilustración 105: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Ahora vemos los contornos de presiones sobre nuestro perfil con sus dispositivos hipersustentadores, en las Ilustraciones 106 y 107.

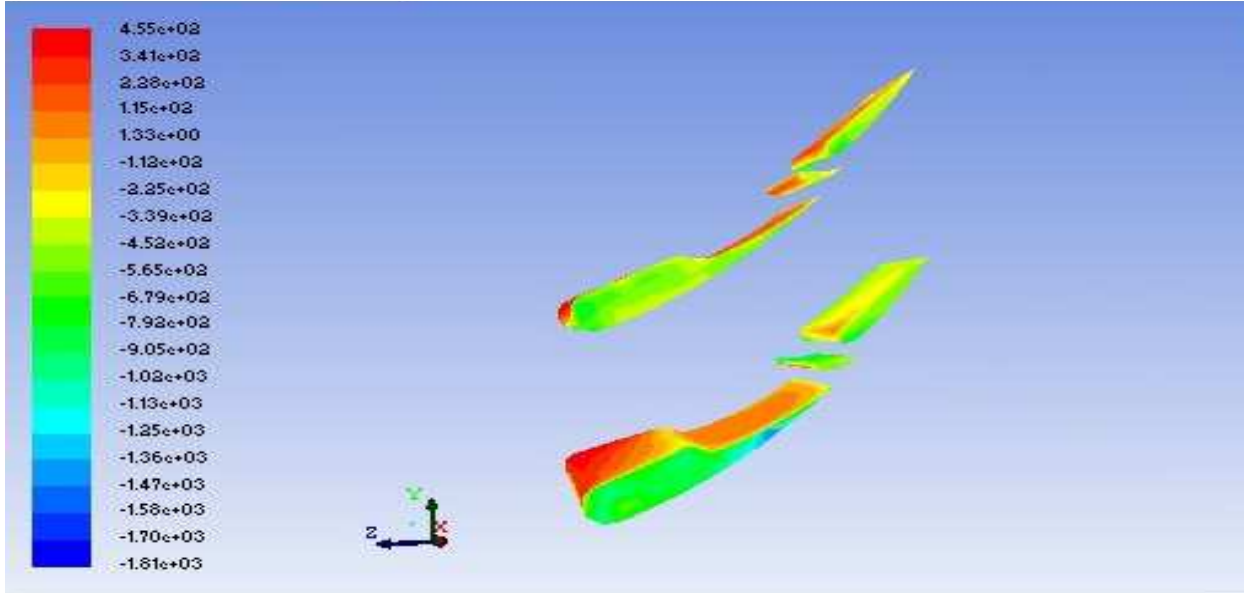


Ilustración 106: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble

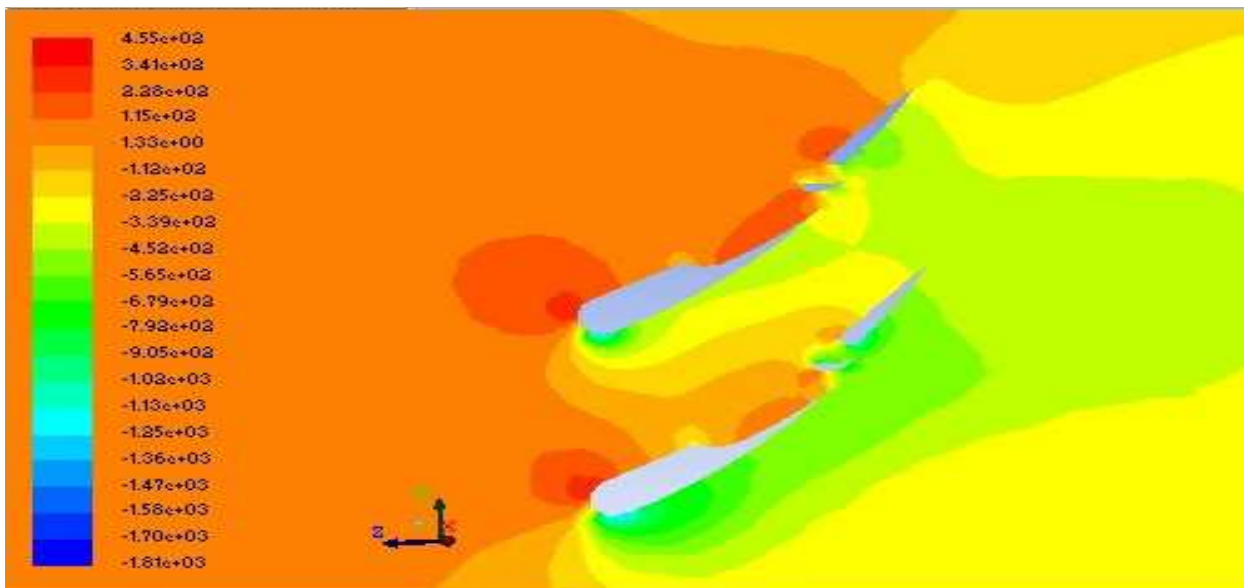


Ilustración 107: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Los alerones realizan su labor perfectamente, salvo en el caso del Fowler y la segunda ranura del alerón inferior que no llegan a aprovecharse del todo sus capacidades de sustentación. Esto es debido a los problemas de espacio.

Podemos observaremos el contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones, en la Ilustración 108.

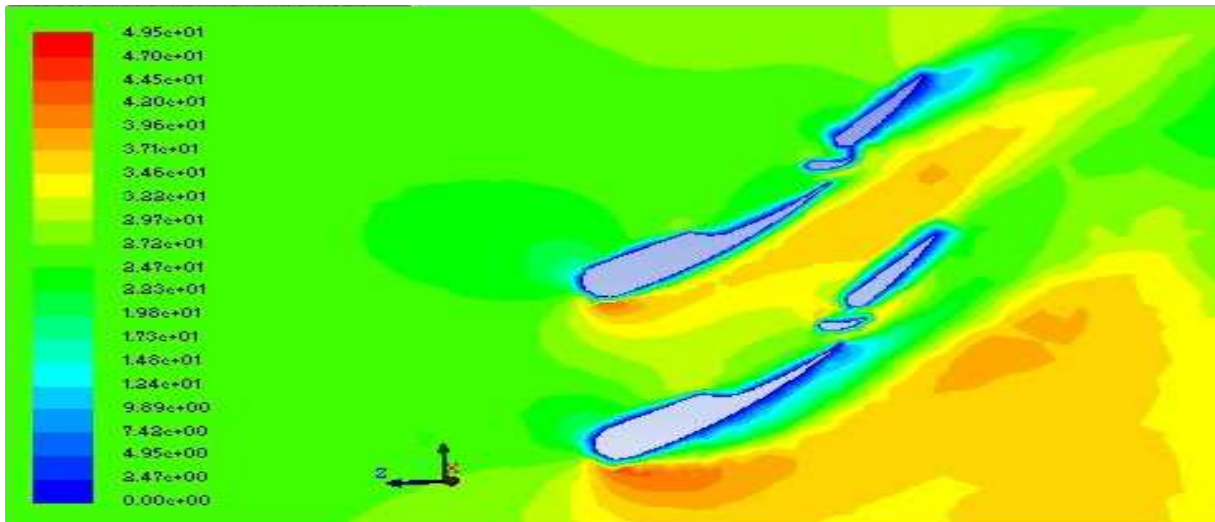


Ilustración 108: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble

Al igual que hemos visto en el contorno de presiones, la parte correspondiente al Fowler y la segunda ranura del alerón inferior no llega a generar toda la sustentación que podría debido a la poca diferencia de velocidades entre su intradós y extradós.

Tras observar los contornos anteriores, observamos las fuerzas que generan nuestros alerones. En este caso tenemos una fuerza de sustentación de 6,08 N y una fuerza de arrastre de 4,005 N.

Forces - Direction Vector (0 0 1)				
Zone	Forces (n)			
	Pressure	Viscous	Total	Coefficients
alerones	-3.9519715	-0.053921745	-4.0058932	-1.03293
Net	-3.9519715	-0.053921745	-4.0058932	-1.03293

Ilustración 109: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Forces - Direction Vector (0 1 0)				
Zone	Forces (n)			
alerones	Pressure	Viscous	Total	Coefficients Pressure
	-6.1061793	0.025553925	-6.0806253	-1.5959771
Net	-6.1061793	0.025553925	-6.0806253	-1.5959771

Ilustración 110: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble

10.2.3 Perfil Asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble

Los resultados de este perfil llegaron a convergir a las 981 iteraciones, los residuos llegan a convergir en un valor por debajo o igual de 10^{-3} , lo cual para esta ecuación es aceptable.

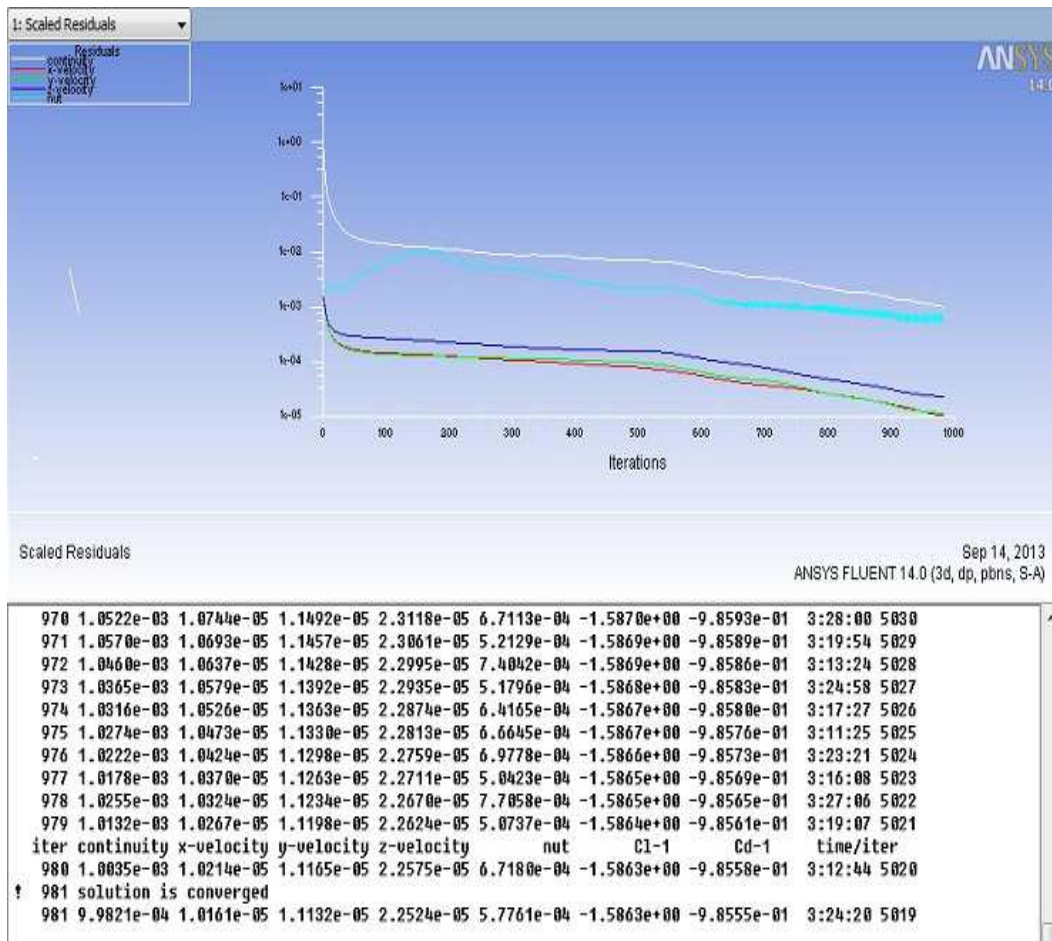


Ilustración 111: Residuos del cálculo iterativo perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Después de comprobar que nuestros cálculos son fiables, mostramos los resultados obtenidos.

El coeficiente de resistencia (drag) obtenido es de 0,99 y el coeficiente de sustentación (lift) obtenido es de 1,59. Como podemos observar en las Ilustraciones 112 y 113 respectivamente.

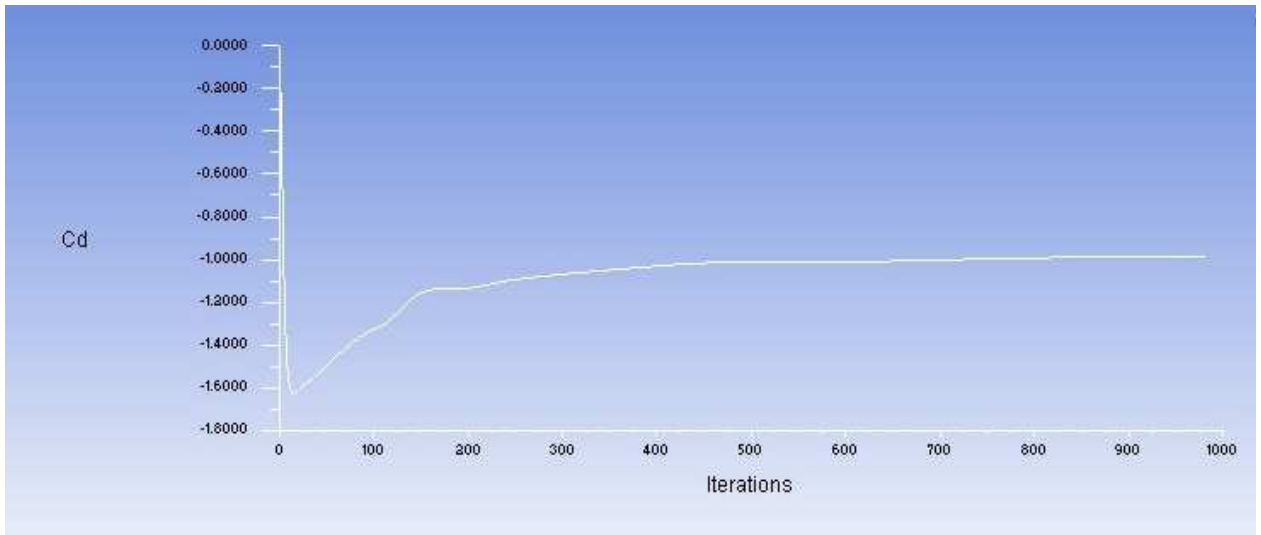


Ilustración 112: Coeficiente de Resistencia del perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble

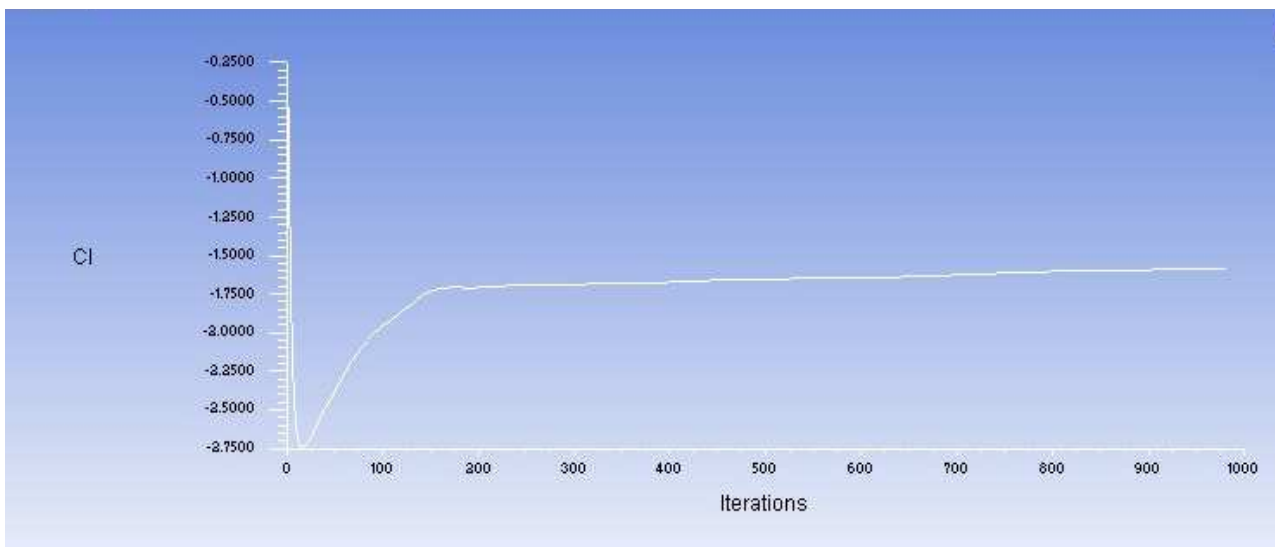


Ilustración 113: Coeficiente de Sustentación del perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

A continuación vemos los contornos de presiones sobre nuestros alerones, en las Ilustraciones 114 y 115.

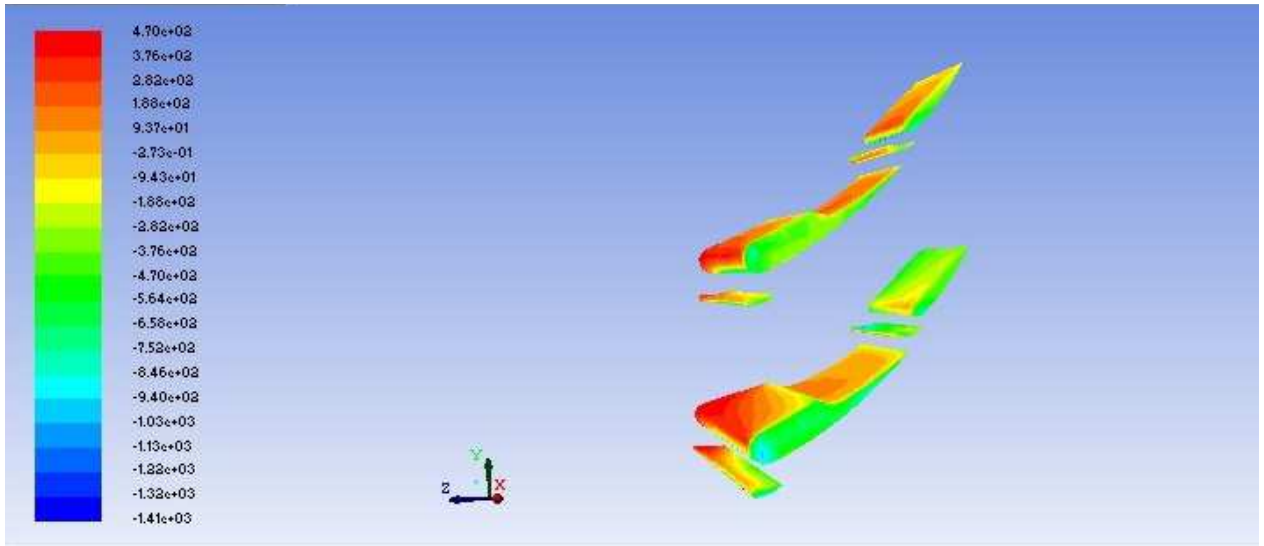


Ilustración 114: Distribución de presiones sobre los alerones con perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble

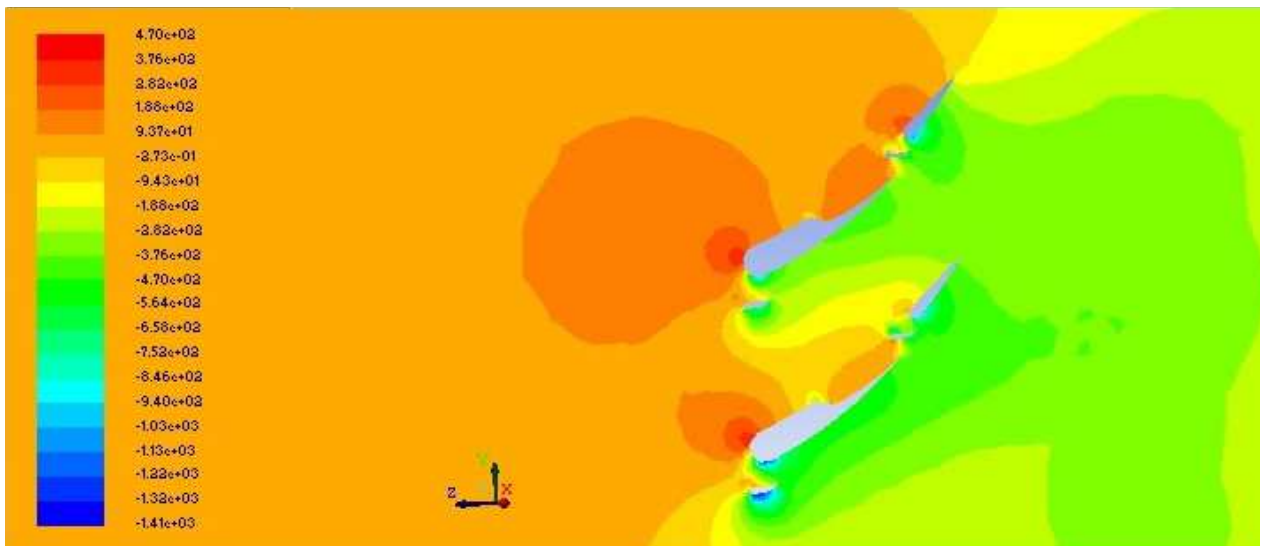


Ilustración 115: Distribución de presiones en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Al igual que en los casos anteriores no podemos aprovechar al máximo la capacidad sustentadora del alerón inferior.

Podemos observaremos el contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones, en la Ilustración 116.

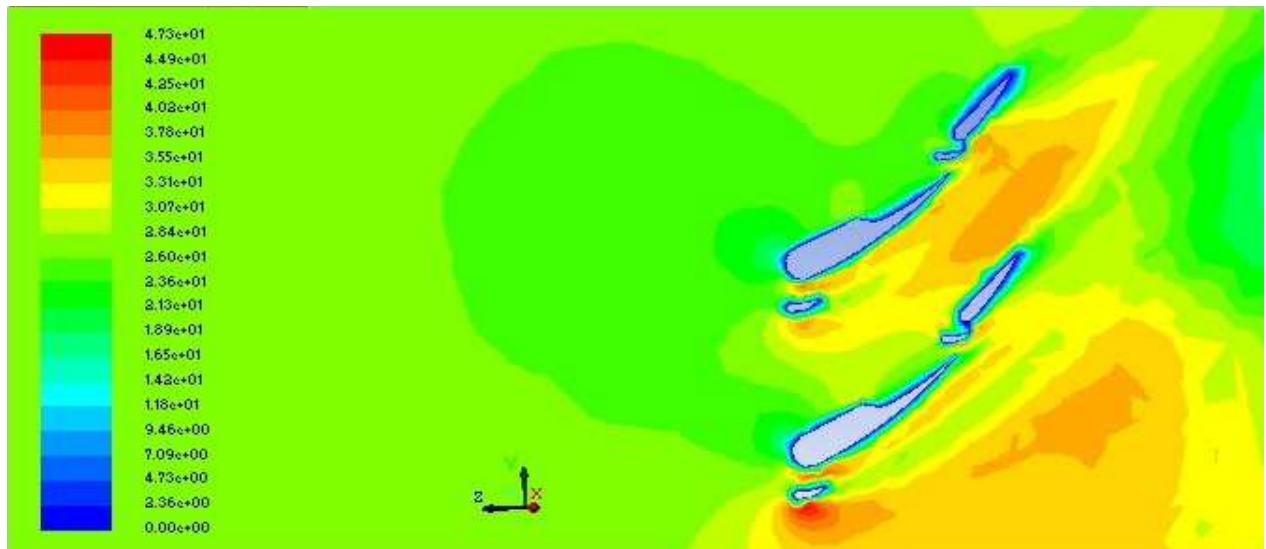


Ilustración 116: Contorno de velocidades en un plano normal a nuestros alerones con perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble

En esta imagen podemos seguir observando el problema que ocurre en el alerón inferior, ya que no se aprovecha del todo su capacidad de sustentación.

Tras observar los contornos anteriores, observamos las fuerzas que generan nuestros alerones. En este caso tenemos una fuerza de sustentación de 7,27 N y una fuerza de arrastre de 4,52 N.

Forces - Direction Vector (0 0 1)				
Zone	Forces (n)			
	Pressure	Viscous	Total	Coefficients Pressure
alerones	-4.438735	-0.076771497	-4.5155065	-0.96878992
Net	-4.438735	-0.076771497	-4.5155065	-0.96878992

Ilustración 117: Fuerza de arrastre del perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Forces - Direction Vector (0 1 0)				
Zone	Forces (n) Pressure	Viscous	Total	Coefficients Pressure
alerones	-7.3023388	0.034442845	-7.267896	-1.5937947
Net	-7.3023388	0.034442845	-7.267896	-1.5937947

Ilustración 118: Fuerza de sustentación del perfil asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble

10.3 Resultados Obtenidos

En este apartado podremos observar todos los resultados obtenidos de añadir los dispositivos hipersustentadores a nuestros perfiles.

<i>Perfil</i>	<i>Coeficiente de Resistencia (Cd)</i>	<i>Coeficiente de Sustentación (Cl)</i>	<i>Fuerza de Arrastre (N)</i>	<i>Fuerza de Sustentación (N)</i>
Asimétrico 1 Fowler	1,158	1,92	4,211	6,98
Asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble	1,24	1,86	4,35	7,2
Asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble	1,066	1,57	4,53	7,68

Tabla 2: Resultados obtenidos hipersustentadores 1

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Perfil	Coeficiente de Resistencia (Cd)	Coeficiente de Sustentación (Cl)	Fuerza de Arrastre (N)	Fuerza de Sustentación (N)
Asimétrico 2 Fowler	1,137	1,822	4,08	6,54
Asimétrico 2 Flap Fowler con ranura doble	1,047	1,59	4,01	6,08
Asimétrico 2 Álula y flap Fowler con ranura doble	0,99	1,59	4,52	7,27

Tabla 3: Resultados obtenidos hipersustentadores 2

Al observar los resultados, seleccionamos un conjunto de perfiles con los cuales calcularemos la ganancia de velocidad de nuestra moto en curva, ya que al no haber mucha diferencia entre las fuerzas obtenidas debemos comprobar si hay diferencia entre las velocidades.

El conjunto de perfiles seleccionado son los pertenecientes al asimétrico 1, ya que presentan mejores fuerzas y coeficientes de sustentación y no hay mucha diferencia entre los coeficientes de resistencia y fuerzas de arrastre con respecto al conjunto del asimétrico 2.

11. UTILIZACIÓN DE NUESTROS ALERONES EN LA MOTO

Al incluir unos alerones delanteros en el guardabarros obtenemos un lift en el tren delantero, esto nos ofrece un apoyo mayor en la curva, consiguiendo una mayor adherencia lo que nos lleva a aumentar la velocidad en paso por curva reduciendo los tiempos por vuelta, siempre que la fuerza de adherencia que el neumático realiza lo soporte.

Las fuerzas que existen en el tren delantero de una moto en el caso del paso por curva, de forma simplificada, son la fuerza de rozamiento que soporta el neumático, el peso, tanto de la moto como del piloto, y la fuerza centrífuga la cual aumentará cuanto mayor sea la velocidad de paso por curva. La disposición de las fuerzas se puede ver en la Ilustración 119, donde podemos observar como la fuerza centrífuga intenta hacer que la moto se salga de la curva y la fuerza de rozamiento generada por el neumático lo evita.

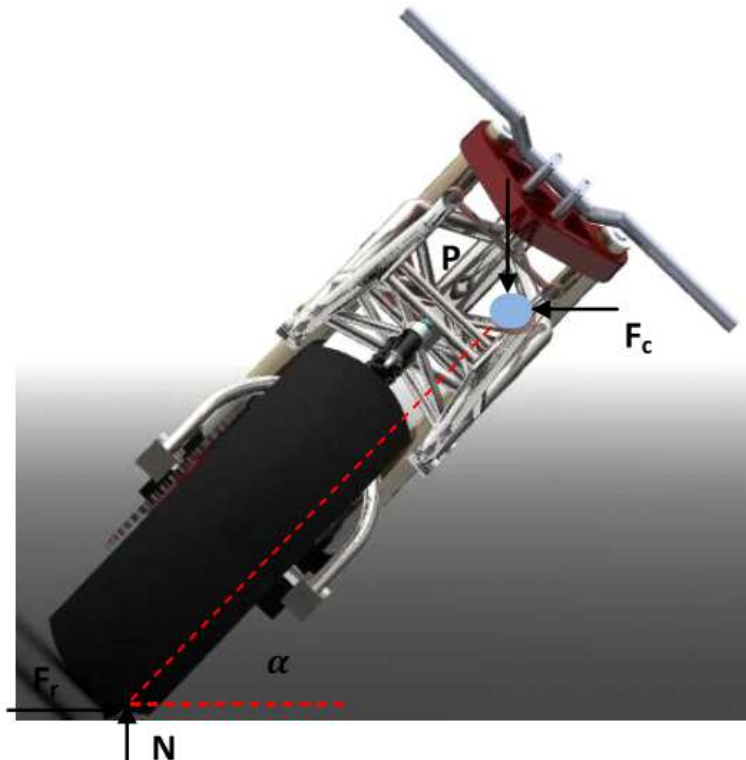


Ilustración 119: Fuerzas de una moto en curva

Como podemos observar en la imagen, la moto se encuentra inclinada ya que nos encontramos en la situación de paso por curva, por lo que existe un ángulo α , como

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

podemos ver en la Ilustración 119. Esto variará todas las disposiciones de las fuerzas. Por lo que el peso y la fuerza centrífuga generarán una resultante, la normal y la fuerza de rozamiento generarán otra resultante en la misma dirección, pero de sentido contrario.

Una vez definidas las fuerzas involucradas en el paso por curva, pasaremos a calcular los beneficios que aportan nuestros alerones a la velocidad de paso por curva.

Antes de comenzar con los cálculos hemos de establecer los parámetros de paso por curva, algunos ya han sido establecidos.

1. Comenzamos por recordar que nuestra velocidad de paso por curva es de 100 Km/h (27,77 m/s).
2. En nuestro caso, los alerones han sido diseñados para su uso en curva rápida, por lo que el radio estimado de la curva será de 60 m.
3. Debemos de establecer un coeficiente de rozamiento, que en nuestro caso será de 1,2 al poseer neumáticos de competición.
4. Ahora estableceremos el peso de nuestra moto, en función de los datos que tenemos proporcionados por la organización y el diseño de nuestro chasis, en 180 Kg teniendo en cuenta el peso del piloto.
5. Por último debemos de establecer un ángulo de inclinación, que basándonos en datos recogidos será de 50°.

Una vez estipulados los parámetros pasamos a definir las fórmulas con las que hallaremos la velocidad en paso por curva.

Comenzamos por la fuerza de rozamiento. Esta fuerza es el resultado del producto entre el coeficiente de rozamiento y la fuerza normal, como podemos observar en la ecuación (11.1). A su vez la fuerza normal es el resultado del producto entre la masa por la aceleración de la gravedad.

$$F_r = \mu \cdot N \quad (11.1)$$

Con respecto a la fuerza centrífuga, es directamente proporcional a la velocidad al cuadrado (V) con respecto a la masa de la moto (m) y ambas inversamente proporcional al radio (R) de la curva, con lo que la formula queda de la siguiente manera.

$$F_c = \frac{m \cdot V^2}{R} \quad (11.2)$$

En el caso del paso por curva máximo, la fuerza centrífuga y la fuerza de rozamiento han de ser iguales, por lo que:

$$F_c = F_r \quad (11.3)$$

Debemos incluir en las ecuaciones la inclinación de la moto, de esta manera por trigonometría podemos obtener que:

$$\tan(\alpha) = \frac{P}{F_r} \quad (11.4)$$

A través de las ecuaciones (11.2), (11.3) y (11.4), obtenemos la siguiente ecuación:

$$\tan(\alpha) = \frac{g \cdot R}{V^2} \quad (11.5)$$

De la cual despejamos la ecuación de la velocidad máxima en curva (11.6).

$$V = \sqrt{\frac{g \cdot R}{\tan(\alpha)}} \quad (11.6)$$

Esta ecuación solo es válida en el caso de que no existan alerones ya que se iguala la fuerza normal y el peso. En el caso de la moto con alerones la fuerza normal es igual al peso más la fuerza generada por los alerones.

$$N = F_z + P \quad (11.7)$$

Des esta manera obtenemos la ecuación de la velocidad máxima en curva, en el caso de que existan alerones (11.8).

$$V = \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot (m + F_z)}{\tan(\alpha) \cdot m}} \quad (11.8)$$

11.1 Calculo del beneficio en curva de nuestros alerones

Utilizando la ecuación (11.6) y (11.8), calcularemos la velocidad máxima de paso por curva de nuestra moto y el incremento en esta velocidad que provoca nuestros alerones.

11.1.1 Velocidad máxima original

En primer lugar calcularemos la máxima velocidad en curva de nuestra moto sin alerones. Conocemos todos los parámetros que influyen en la velocidad máxima de paso por curva, por lo que despejamos la ecuación (11.6) de la cual conocemos los siguientes parámetros:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$R = 60 \text{ m}$$

$$\alpha = 50^\circ$$

$$V = \sqrt{\frac{g \cdot R}{\tan(\alpha)}}$$

$$V = \sqrt{\frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 60 \text{ m}}{\tan(50^\circ)}} = 22,22 \text{ m/s} \rightarrow 80 \text{ Km/h}$$

De esta manera la velocidad máxima de nuestra moto en curva sin alerones es de 80 Km/h.

11.1.2 Velocidad máxima con alerones

Como hemos visto anteriormente el conjunto de alerones seleccionado es el perteneciente al perfil asimétrico 1. También hemos de indicar que la fuerza generada en los alerones será la obtenida en el capítulo 10, pero ha de duplicarse ya que al calcular estas fuerzas aplicamos simetría en nuestro guardabarros por lo que la fuerza obtenida solo es para un lado del guardabarros, es decir para una línea de alerones.

11.1.2.1 Asimétrico 1 Fowler

Comenzaremos calculando la velocidad máxima en el caso del perfil asimétrico 1 Fowler, resolviendo la ecuación (11.8).

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$R = 60 \text{ m}$$

$$m = 180 \text{ kg}$$

$$\alpha = 50^\circ$$

$$F_z = 13,96 \text{ N} \Rightarrow 1,43 \text{ kg}$$

$$V = \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot (m + F_z)}{\tan(\alpha) \cdot m}}$$

$$V = \sqrt{\frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 60 \text{ m} \cdot (180 \text{ kg} + 1,43 \text{ kg})}{\tan(50^\circ) \cdot 180 \text{ kg}}} = 22,31 \text{ m/s} \rightarrow 80,32 \text{ Km/h}$$

La velocidad máxima obtenida a través de los alerones con perfil asimétrico 1 Fowler es de 80,32 Km/h.

11.1.2.2 Asimétrico 1 Flap Fowler con ranura doble

Calculamos la velocidad máxima en el caso del perfil asimétrico 1 flap Fowler con ranura doble, resolviendo la ecuación (11.8).

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$R = 60 \text{ m}$$

$$m = 180 \text{ kg}$$

$$\alpha = 50^\circ$$

$$F_z = 14,4 \text{ N} \Rightarrow 1,47 \text{ kg}$$

$$V = \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot (m + F_z)}{\tan(\alpha) \cdot m}}$$

$$V = \sqrt{\frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 60 \text{ m} \cdot (180 \text{ kg} + 1,47 \text{ kg})}{\tan(50^\circ) \cdot 180 \text{ kg}}} = 22,31 \text{ m/s} \rightarrow 80,32 \text{ Km/h}$$

La velocidad máxima obtenida a través de los alerones con perfil asimétrico 1 flap Fowler con ranura doble es de 80,32 Km/h.

11.1.2.3 Asimétrico 1 Álula y Flap Fowler con ranura doble

Calculamos la velocidad máxima en el caso del perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowler con ranura doble, resolviendo la ecuación (11.8).

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$R = 60 \text{ m}$$

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

$$m = 180 \text{ kg}$$

$$\alpha = 50^\circ$$

$$F_z = 15,36 \text{ N} \Rightarrow 1,57 \text{ kg}$$

$$V = \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot (m + F_z)}{\tan(\alpha) \cdot m}}$$

$$V = \sqrt{\frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 60 \text{ m} \cdot (180 \text{ kg} + 1,57 \text{ kg})}{\tan(50^\circ) \cdot 180 \text{ kg}}} = 22,32 \text{ m/s} \rightarrow 80,35 \text{ Km/h}$$

La velocidad máxima obtenida a través de los alerones con perfil asimétrico 1 Álula y flap Fowle con ranura doble es de 80,35 Km/h.

Seleccionaremos el alerón con perfil asimétrico 1 Fowler ya que la diferencia de ganancia entre las velocidades de los alerones es insignificante, por lo que seleccionamos aquel cuya complicación mecánica sea mínima.

11.1.3 Tiempo de paso por curva

Una vez calculada la máxima velocidad en curva con nuestros alerones, hallaremos el tiempo de paso por curva, tanto de nuestra moto con alerones como sin ellos.

Para esto debemos definir una distancia media en función del radio de la curva. Supondremos que es $\frac{1}{4}$ de la longitud de la circunferencia con un radio de 60m, de esta manera la fórmula para hallar la distancia recorrida en la curva queda de la siguiente manera:

$$L = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{4} \quad (11.9)$$

Para el cálculo del tiempo de paso por curva utilizaremos la ecuación (11.10).

$$\text{tiempo} = \frac{L}{V} \quad (11.10)$$

Utilizando las ecuaciones (11.9) y (11.10), calcularemos el tiempo de paso por curva de nuestra moto sin alerones.

$$R = 60 \text{ m}$$

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

$$V = 22,22 \text{ m/s}$$

$$L = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{4}$$

$$L = \frac{2 \cdot \pi \cdot 60m}{4} = 94,25 \text{ m}$$

$$tiempo = \frac{L}{V}$$

$$tiempo = \frac{94,25m}{22,22 \text{ m/s}} = 4,24 \text{ s}$$

De esta manera el tiempo de paso por curva de nuestra moto sin alerones es de 4,24s.

Igual que para el caso de nuestra moto sin alerones, utilizaremos la ecuación (11.10) para calcular el tiempo de paso por curva con alerones.

$$V = 22,31 \text{ m/s}$$

$$L = 94,25 \text{ m}$$

$$tiempo = \frac{94,25m}{22,31 \text{ m/s}} = 4,22 \text{ s}$$

Como vemos en la ecuación anterior nuestro tiempo de paso por curva con los alerones seleccionados es de 4,22 s.

Por lo que la mejora obtenida es de 2 centésimas de segundo por curva. Aunque parece una mejora insignificante, desde el punto de vista de la competición es un buen resultado, ya que las diferencias entre pilotos se llegan a medir en centésimas. Además esta mejora de tiempo es por curva, se podría llegar a obtener una mejora de décimas por vuelta e incluso de segundos por carrera.

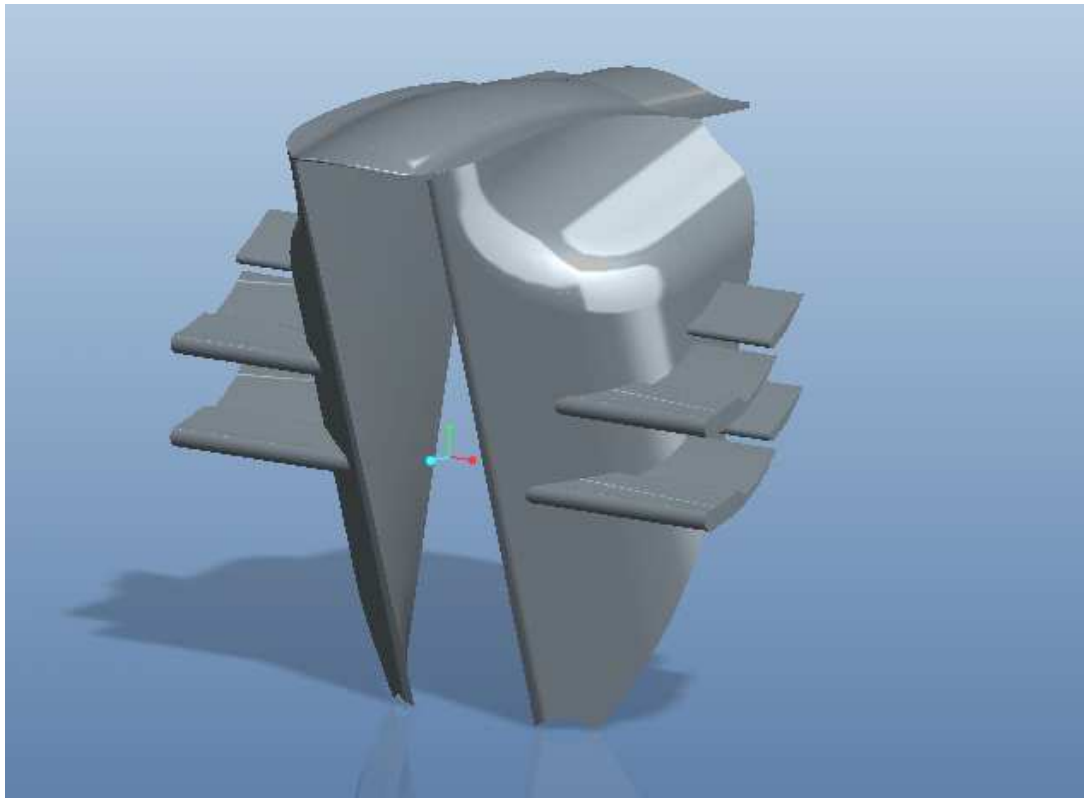


Ilustración 120: Alerones seleccionados junto al guardabarros

12. CONCLUSIONES

El objetivo para el que se ha elaborado este proyecto se encuentra centrado en el diseño de unos alerones con el fin de mejorar el paso por curva de una motocicleta de 250 CC y cuatro tiempos, para la participación en la competición MotoStudent.

Construir una motocicleta requiere un largo proceso de estudio y desarrollo. Así, a lo largo del proyecto se han desarrollado los distintos pasos para ir definiendo la geometría de unos alerones que nos proporcionen una mayor prestación de curva para nuestra motocicleta.

Para la realización de estos diseños han sido necesarios estudios preliminares, especialmente importantes los realizados acerca de la geometría óptima que nos aporte el mejor comportamiento aerodinámico. Además de la búsqueda de la solución que mejor se adaptaba a nuestras necesidades.

Otra de las tareas imprescindibles para el desarrollo del proyecto ha sido el estudio de los diferentes programas de modelaje y análisis utilizados, sin los cuales no hubiera sido posible la realización del proyecto. Finalmente se ha optado por usar el programa *Pro/Engineer* para el desarrollo del CAD y el programa *AnsysFluent* para el estudio aerodinámico de los alerones.

Para llegar a optimizar los alerones se realizaron diferentes simulaciones comparativas con distintos diseños buscando siempre maximizar aquellas propiedades que considerábamos importantes.

Primeramente realizamos un estudio de cómo debería ser el comportamiento aerodinámico deseado, basándonos en el estudio de perfiles aerodinámicos.

Buscamos la geometría que nos proporcionase el comportamiento deseado a través de una geometría variable, teniendo muy en cuenta el espacio disponible para el diseño.

Luego realizamos diferentes simulaciones (comparando los resultados de las mismas) buscando optimizar la geometría de los alerones en función de los coeficientes y las fuerzas aerodinámicas de dichos perfiles.

Posteriormente seleccionamos los dos perfiles que mejor se ajusten a nuestras necesidades. De esta manera redujimos las líneas de desarrollo de nuestros alerones en únicamente dos diseños a mejorar.

“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

Tras esto, optimizamos los dos diseños seleccionados por medio del uso de dispositivos hipersustentadores, a través de los cuales optimizamos aún más las características aerodinámicas de nuestros alerones.

Una vez añadido los dispositivos hipersustentadores a nuestros alerones, procedimos a su simulación (al igual que hicimos en el caso de los primeros diseños) y a la comparación de estas.

Para la selección del modelo óptimo, hemos tenido en cuenta varias características como son:

- *Coeficiente de Resistencia (Cd): Hemos conseguido unos coeficientes de resistencia bastante aceptables, pero no al punto de la optimización que se buscaba.*
- *Coeficientes de Sustentación (Cl): En este caso los coeficientes obtenidos en todos los casos han sido los esperados y buscados .*
- *Fuerzas de Arrastre: Las fuerzas de arrastre obtenidas son las deseadas en su mayoría, sin embargo hay unas más elevadas de lo deseado, pero siempre dentro de un intervalo que se asume como correcto (<70% de la fuerza generada por sustentación).*
- *Fuerzas de Sustentación: Todas las fuerzas obtenidas han sido las deseadas por lo que a sustentación se refiere.*
- *Dificultad de fabricación: También se ha tenido en cuenta la dificultad en la implantación de algunos dispositivos hipersustentadores.*

Se llegó a la conclusión de que el diseño óptimo es alerón con perfil asimétrico 1 Fowler:

- Presenta buenos coeficientes aerodinámicos.
- Genera una fuerza de arrastre lo suficientemente pequeña como para considerarse aceptable.
- La fuerza de sustentación aunque no es la mayor obtenida, no es mucho más pequeña que la mayor.
- Presenta una dificultad de fabricación mucho menor que el resto de alerones.

Aun está por determinar la utilización de estos alerones en la competición MotoStudent 2012, ya que hay que estudiar la forma de montar estos alerones en el guardabarros y



el sistema de activación de los mismos, pero estas cuestiones no son el objetivo de este proyecto.

La evaluación definitiva de si el diseño es válido o hay que cambiarlo se verificará una vez montado nuestros alerones con el resto de elementos de la motocicleta y realizados los ensayos oportunos.

Tras el test de funcionamiento de la motocicleta podremos analizar qué fallos tiene o qué posibles mejoras se le pueden aplicar. En estos análisis es muy importante la opinión del piloto sobre las sensaciones que provocan estos alerones en el manejo de la motocicleta, ya que no existen datos ni estudios de sistemas parecidos. Toda esta información nos permitirá ir optimizando los diferentes parámetros y conocer mejor la mejora que estos alerones pueden proporcionar a la motocicleta.

La situación óptima sería la fabricación de los alerones seleccionados en este proyecto para poder verificar si realmente cumple con los datos obtenidos en los análisis.

Con todo lo expuesto aquí cabe concluir que este proyecto no termina aquí ya que se puede optimizar aun más a partir de datos reales y pruebas en circuito.

13. DESARROLLOS FUTUROS

El volumen que supone este trabajo es casi infinito y abordarlo completamente es prácticamente imposible; por ello he dejado marcados algunos aspectos sobre los que no se ha ahondado y podrían ser de interés para su posterior estudio:

- Primeramente el estudio de este tipo de alerones en lugar de en el guardabarros directamente en el carenado de la moto, lo cual nos podría dar más espacio.
- El estudio de un sistema mecánico para deflejar el perfil de los alerones cuando sea necesario su activación.



Ilustración 121: Activación de un dispositivo Flap Fowler con ranura doble en el ala de un avión

- El estudio del sistema de activación de nuestros alerones en curva.
- El estudio de cómo mantener los alerones en posición horizontal al inclinar la motocicleta.

14. PRESUPUESTO

En éste punto se comentará y expondrá un análisis de las actividades realizadas, tipo de material empleado y personal, así como información económica y temporal detallada con el objetivo de ofrecer un presupuesto que nos indique el coste total del proyecto.

Analizaremos el presupuesto en tres grupos diferentes:

- Coste de personal.
- Coste de material informático y licencias.
- Costes Indirectos

14.1 Costes de personal

Este coste nos indica el importe imputable al personal. Se debe calcular el coste total de personal en función del número de horas que se ha dedicado a la realización del proyecto.

La elaboración del proyecto ha tenido una duración total de seis meses. Se han dedicado 14 horas semanales. Se debe tener en cuenta el trabajo del personal en las diferentes partes que engloba el proyecto y por tanto, se ha establecido un precio por hora diferente para cada actividad.

14.2 Coste de material informático y licencias

En este apartado se tendrá en cuenta todo el material informático utilizado durante el proyecto. Además, hay que tener en cuenta el precio de los programas utilizados para la elaboración del proyecto. Hemos utilizado el software *Pro/Engineer* y el software *AnsysFluent* además de software informáticos que se encuentran dentro del paquete informático del ordenador como *Microsoft Word* y *Microsoft Excel*. Éstos dos últimos programas no entrarán dentro del coste de licencias debido a que están vinculados al paquete de Office. Así, debemos alquilar la licencia del programa *Pro/Engineer* y *AnsysFluent* para estimar un coste de amortización. La licencia del programa de diseño *Pro/Engineer* y *AnsysFluent* se alquila durante un año completo aunque el proyecto se haya realizado tan solo en menos de la mitad del tiempo de alquiler.

14.3 Costes Indirectos

En este apartado se tendrán en cuenta los costes difíciles de justificar, tales como los imprevistos ocasionados, fotocopias del proyecto así como un beneficio para



“Estudio de la influencia de los alerones en los parámetros mecánicos de una motocicleta de competición en paso por curva”

el autor del mismo. Por tanto se estipula que el valor de coste indirecto será del 20% del total.

PERSONAL					
Nombre y apellidos	Tarea	Categoría	Dedicación (h)	Coste (€/h)	Coste (€)
Alejandro Antequera Serra	Documentación y Memoria	Graduado en Ingeniería Mecánica	120	30	3.600,00 €
	Análisis y Diseño		168	50	8.400,00 €

Total	12.000,00 €
-------	-------------

MATERIALES INFORMÁTICOS Y LICENCIAS					
Descripción	Coste (€)	% Uso proyecto	Dedicación (meses)	Periodo depreciación	Coste (€)
Ordenador Toshiba Satellite	546	60	6	24	81,90 €
Licencia Pro Engineer	7800	50	6	12	1950,00 €
Lincencia AnsysFluent	6000	50	6	12	1750,00 €

Total	3.781,90 €
-------	------------

Total Personal y Materiales	15.781,90 €
------------------------------------	--------------------

RESUMEN DE COSTES	
Total Personal y Materiales	15.781,90 €
Costes Indirectos	3.156,38 €
Total	18.938,28 €

El presupuesto total del proyecto asciende a la cantidad de dieciocho mil novecientos treinta y ocho con veintiocho euros.

Leganés, a 30 de Julio de 2013

El Ingeniero Projectista

Fdo.Alejandro Antequera Serra



15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tony Foale. Traducido por David Sánchez. “Motocicletas: comportamiento dinámico y diseño de chasis: el arte y la ciencia”. Ed. Foale, Tony. Año 2003.
- [2] Manuel Arias Paz. “Motocicletas”. Ed. Dossat 2000, 32ª edición, Octubre 2003.
- [3] Reglamento Técnico. Motostudent. Edición 2011/2012.
- [4] Tania Folguera. Proyecto Fin de Carrera: “Estudio de las vibraciones auto excitadas en el tren delantero de un motocicleta”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2011.
- [5] Anibal Isidoro Carmona. “Aerodinámica y actuaciones del avión”. Ed. Thomson Paraninfo, 12ª edición, Año 2004.
- [6] Gaetano Cocco. “Motorcycle design and technology”. Motorbooks, Año 2004.
- [7] Joseph Katz. “Race car aerodynamics”. Bentley Publishers, Año 1995.
- [8] José Meseguer Ruiz. “Aerodinámica básica”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, Año 2005.
- [9] Frank M.White. “Mecánica de Fluidos”. Mc Graw Hill, 6ª edición, Año 2008.
- [10] N.F. Krasnov. “Aerodinámica en preguntas y problemas”. Moscú, Año 1989.
- [11] [Ansys,14] Manual del programa

Referencias web

- [12] <http://www.motostudent.com/> (último acceso 01/06/2013).
- [13] <http://www.bottpower.com/?p=92> (último acceso 02/04/2013).